

明 細 書

点火時期を制御する装置および方法

5 技術分野

この発明は、内燃機関の点火時期を制御する装置および方法に関する。

背景技術

10 内燃機関（以下、エンジンと呼ぶ）の燃焼室内の圧力（以下、筒内圧と呼ぶ）を検出して、点火時期を制御する手法が提案されている。特開平2003-262177号公報には、上死点（TDC）における筒内圧 P_{tdc} と、最大筒内圧 P_{max} との間の差 ΔP を所定のしきい値と比較し、該差 ΔP が該しきい値より小さければ、点火時期を進角側に補正する。

15

発明の開示

点火は、最適点火時期（MBT：Minimum advance for the Best Torque）で行うのが好ましい。最適点火時期で点火を実施することにより、燃焼効率を良好にし、排ガスの浄化性能を高めることができる。

20

通常、エンジンの運転状態に応じた点火時期を、マップとしてメモリに格納している。検出された現在の運転状態に基づいて該マップを参照して、点火時期を決定する。バルブタイミング機構、可変圧縮比機構などの様々な機構を備える車両では、エンジンの運転状態の数が膨大であり、よって格納すべき点火時期の数も膨大になる。このような膨大な数の運転状態のそれぞれに最適な点火時期をマップ上に規定することは、
25 困難となってきた。

25

また、最近の車両は、エンジンに関連する構成部品を多く備えているので、燃焼状態にバラツキが生じたり、構成部品ごとに経年変化が異なったりする。したがって、このような多くの構成部品に適合するよう点火時期を設定することが困難となってきた。

30

現在の運転状態に応じた最適点火時期MBTを明確に取得することが

できないと、ノッキングを確実に回避するためには点火時期を遅らせる必要がある。点火時期の過度な遅角側への制御は、燃料効率の低下を招くおそれがある。

5 従来技術のように、所定の周期で筒内圧をしきい値と比較しながら点火時期を最適点火時期MBTに近づけようとする、点火時期を最適点火時期MBTに収束させるまでに時間がかかり、やはり燃焼効率の低下を招くおそれがある。

したがって、現在の運転状態に応じた最適点火時期MBTを推定して、
10 該推定された最適点火時期MBTに点火時期を速やかに収束させることのできる制御装置および方法が必要とされている。

本発明の一つの側面によると、内燃機関の点火時期制御装置は、設定
点火時期に変動成分を加えて、点火を実施するための最終点火時期を算
出する点火時期算出器と、該最終点火時期に従って点火を実施した時に
検出された筒内圧の図示平均有効圧を算出する平均有効圧算出器と、該
15 図示平均有効圧と該変動成分とに基づいて、該図示平均有効圧と該変動成分との相関関係を表す点火時期特性曲線を推定し、該点火時期特性曲線から、最適点火時期を算出するMBT算出器と、該最適点火時期に収束するように、該設定点火時期を制御するコントローラと、を備える。

この発明によれば、点火時期に変動成分を加えることにより、現在の
20 運転状態に応じた最適点火時期を算出することができるようになる。最適点火時期に点火時期を収束させることにより、筒内圧を最大にして、燃焼効率の低下を防止することができる。現在の運転状態に応じた最適点火時期を算出することができるので、様々な運転状態に応じた膨大な数の点火時期を予めメモリに記憶する必要はない。

25 この発明の一実施形態によると、点火時期特性曲線は、変動成分を入力とし、図示平均有効圧を出力とする関数で表される。上記のMBT算出器は、さらに、平均有効圧算出器により算出された図示平均有効圧に基づいて、該関数における該変動成分に関連付けられた係数を同定する同定器を備える。該係数の同定により、点火時期特性曲線は推定される。
30 この発明によれば、点火時期特性曲線を表す関数に含まれる係数をより正確に同定することができるので、点火時期特性曲線の推定精度を向上

させることができる。

この発明の一実施形態によると、制御装置は、さらに、変動成分を生成する生成器を備える。変動成分生成器は、上記関数の係数を同定するための自己励起条件を満たすように該変動成分を生成する。一実施例では、自己励起条件の数は、点火時期特性曲線を推定するのに同定すべき係数の数に1を加算した値に等しいか、または該加算した値より大きい。この発明によれば、点火時期特性曲線を推定するための信号を適切に生成することができる。

この発明の一実施形態によると、上記同定器は、さらに、平均有効圧算出器により算出された図示平均有効圧と、変動成分を入力として上記関数に基づいて推定された推定図示平均有効圧との偏差がゼロになるように、該係数の更新成分を算出する。さらに、同定器は、該偏差がゼロに近づくにつれ、予め設定された基準値に該係数が収束するように、該基準値に該係数の更新成分を加算することにより該係数を算出する。該基準値は、該偏差がゼロに収束した時に、最適点火時期に設定点火時期を収束させる制御が停止するように、設定される。

この発明によれば、実際の平均有効圧が、点火時期特性曲線から推定された推定図示平均有効圧とほぼ等しくなる時には、すなわち同定誤差がほぼゼロに近づく時には、該係数が基準値に収束するので、係数のドリフトを防止することができる。さらに、係数が基準値に収束した時には、点火時期のフィードバック制御が停止するよう基準値が設定されるので、誤った同定が継続することを防ぐことができる。

この発明の一実施形態によると、係数のうちの少なくとも1つに所定の制限処理を実施し、点火時期特性曲線が、下側の凸状の形状を持つ曲線として推定されることを防ぐようにする。設定点火時期が最適点火時期近傍に収束すると、推定される特性曲線の曲率が平坦になるが、この発明によれば、このような状態においても、特性曲線の曲率が誤って推定されるのを防ぐことができる。

この発明の一実施形態によると、平均有効圧算出器は、検出された筒内圧の交流成分を抽出し、該交流成分に基づいて図示平均有効圧を算出する。この発明によれば、筒内圧センサの検出値に焦電効果や熱ドリフ

トの影響が現れても、これらの影響を取り除いて図示平均有効圧を算出することができる。したがって、セラミック系の圧電素子を筒内圧センサに用いることができる。さらに、筒内圧センサをエンジンシリンダの壁近くに設置することができる。

- 5 この発明の一実施形態によると、設定点火時期の最適点火時期への応答特性を指定することのできる応答指定型制御を用いて、設定点火時期を制御する。この発明によれば、オーバーシュートを生じさせることなく、設定点火時期を最適点火時期に収束させることができる。点火時期を過度に進角または遅角させて燃焼効率が低下することを防止すること
10 ができる。

図面の簡単な説明

第1図は、この発明の一実施例に従う、エンジンおよびその制御装置を概略的に示す図。

- 15 第2図は、この発明の一実施例に従う、点火時期制御の原理を説明するための図。

第3図は、この発明の一実施例に従う、点火時期制御装置のブロック図。

第4図は、この発明の一実施例に従う、点火時期の基準値を規定するマップを示す図。

- 20 第5図は、燃焼室の体積と筒内圧との関係を示す図。

第6図は、この発明の一実施例に従う、1次フィルタおよび2次フィルタの特性を示す図。

第7図は、この発明の一実施例に従う、筒内圧の1次成分および2次成分を抽出する手法を説明するための図。

- 25 第8図は、この発明の一実施例に従う、筒内圧の交流成分に基づいて図示平均有効圧を算出することの効果の説明するための図。

第9図は、点火時期と図示平均有効圧との関係を示す図。

第10図は、この発明の一実施例に従う、変動信号の波形を示す図。

- 30 第11図は、この発明の一実施例に従う、変動信号による点火時期の揺動を説明するための図。

第12図は、この発明の一実施例に従って算出された点火時期の推定曲

線および最適点火時期を示す図。

第 1 3 図は、この発明の一実施例に従う、同定すべき係数のうちの 1 つに制限処理を施す理由を説明するための図。

5 第 1 4 図は、この発明の一実施例に従う、応答指定型制御における切換関数を示す図。

第 1 5 図は、この発明の一実施例に従う、応答指定型制御において、応答指定パラメータによって指定される制御量の収束速度を示す図。

第 1 6 図は、最適点火時期へのフィードバック制御を実施しない場合の図示平均有効圧を示す図。

10 第 1 7 図は、この発明の一実施例に従う、最適点火時期へのフィードバック制御を実施する場合の各種パラメータの挙動を示す図。

第 1 8 図は、この発明の一実施例に従う、点火時期制御のメインルーチンを示すフローチャート。

15 第 1 9 図は、この発明の一実施例に従う、最適点火時期へのフィードバック制御を示すフローチャート。

第 2 0 図は、この発明の一実施例に従う、筒内圧のサンプリングプロセスを示すフローチャート。

本発明の実施するための最良の形態

20 内燃機関および制御装置の構成

次に図面を参照してこの発明の実施の形態を説明する。図 1 は、この発明の実施形態に従う、エンジンおよびその制御装置の全体的な構成図である。

25 電子制御ユニット（以下、「ECU」という）1 は、車両の各部から送られてくるデータを受け入れる入力インターフェース 1 a、車両の各部の制御を行うための演算を実行する CPU 1 b、読み取り専用メモリ（ROM）およびランダムアクセスメモリ（RAM）を有するメモリ 1 c、および車両の各部に制御信号を送る出力インターフェース 1 d を備えている。メモリ 1 c の ROM には、車両の各部の制御を行うための
30 プログラムおよび各種のデータが格納されている。この発明に従う点火時期制御のためのプログラムは、該 ROM に格納される。ROM は、E

PROMのような書き換え可能なROMでもよい。RAMには、CPU 1bによる演算のための作業領域が設けられる。車両の各部から送られてくるデータおよび車両の各部に送り出す制御信号は、RAMに一時的に記憶される。

- 5 エンジン2は、たとえば4サイクルのエンジンである。エンジン2は、吸気弁3を介して吸気管4に連結され、排気弁5を介して排気管6に連結されている。ECU1からの制御信号に従って燃料を噴射する燃料噴射弁7が、吸気管4に設けられている。

- 10 エンジン2は、吸気管4から吸入される空気と、燃料噴射弁7から噴射される燃料との混合気を、燃焼室8に吸入する。燃焼室8には、ECU1からの点火時期信号に従って火花を飛ばす点火プラグ9が設けられている。点火プラグ9によって発せられた火花により、混合気は燃焼する。燃焼により混合気の体積は増大し、これによりピストン10を下方に押し下げる。ピストン10の往復運動は、クランク軸11の回転運動
15 に変換される。

筒内圧センサ15は、例えば圧電素子からなるセンサであり、点火プラグ9のエンジンシリンダに接する部分に埋没されている。筒内圧センサ15は、燃焼室8内の筒内圧に応じた筒内圧信号Pcy1を生成し、それをECU1に送る。

- 20 エンジン2には、クランク角センサ17が設けられている。クランク角センサ17は、クランクシャフト11の回転に伴い、CRK信号およびTDC信号をECU1に出力する。

- CRK信号は、所定のクランク角（この実施例では、15度）で出力されるパルス信号である。ECU1は、該CRK信号に応じ、エンジン
25 2の回転数NEを算出する。TDC信号は、ピストン10のTDC位置に関連したクランク角度で出力されるパルス信号である。

- エンジン2の吸気管4には、スロットル弁18が設けられている。スロットル弁18の開度は、ECU1からの制御信号により制御される。スロットル弁18に連結されたスロットル弁開度センサ（ θ TH）19
30 は、スロットル弁18の開度に応じた電気信号を、ECU1に供給する。

吸気管圧力（Pb）センサ20は、スロットル弁18の下流側に設け

られている。P b センサ 20 によって検出された吸気管圧力 P b は E C U 1 に送られる。

スロットル弁 18 の上流には、エアフローメータ (A F M) 21 が設けられている。エアフローメータ 21 は、スロットル弁 18 を通過する
5 空気量を検出し、それを E C U 1 に送る。

アクセルペダル開度センサ 25 が、E C U 1 に接続されている。アクセルペダル開度センサ 25 は、アクセルペダルの開度を検出し、それを E C U 1 に送る。

図示しないが、吸気弁および（または）排気弁の位相およびリフトを
10 可変に駆動する機構、および燃焼室の圧縮比を可変にする機構などを備えることができる。

E C U 1 に向けて送られた信号は入力インターフェース 1 a に渡され、アナログ→デジタル変換される。C P U 1 b は、変換されたデジタル信号を、メモリ 1 c に格納されているプログラムに従って処理し、車両の
15 アクチュエータに送るための制御信号を作り出す。出力インターフェース 1 d は、これらの制御信号を、燃料噴射弁 7、点火プラグ 9、スロットル弁 18、およびその他の機械要素のアクチュエータに送る。

本願発明の原理

発明の理解を助けるため、図 2 を参照して、本願発明の原理を簡単に
20 説明する。

図 2 において、縦軸は、筒内圧の図示平均有効圧を示し、横軸は、点火時期を示す。点火時期の特性曲線 31 は、点火時期と図示平均有効圧との相関関係を示す。図示平均有効圧の算出手法については、後述される。図に示されるように、特性曲線 31 は極大値 32 を持ち、該極大値
25 32 に対応する点火時期は、最大の燃焼効率を実現することができる最適点火時期 M B T と呼ばれる。

現在設定されている点火時期が、I G 1 であると仮定する。本願発明の一実施形態では、該点火時期 I G 1 に変動成分を加える。変動成分の加算は、点火時期を、I G 1 を含む所定範囲内で揺動させる働きを持つ。
30 一実施例では、参照符号 33 に示されるように、変動成分は、連続するサイクルにわたり、点火時期が I G 1 を中心としてプラスとマイナスの

両方向に揺動するように設定される。

こうして点火時期を揺動させた時の図示平均有効圧を取得する。加えられた変動成分と取得した図示平均有効圧とに基づいて、特性曲線 3 1 の、範囲 3 3 に対応する部分 3 4（実線で示されている）を取得することができる。この部分 3 4 に基づいて、特性曲線 3 1 の形状を推定することができる。推定された特性曲線 3 1 から、最適点火時期 M B T が算出される。最適点火時期 M B T に収束するように、点火時期が制御される。

本願発明によれば、現在の運転状態に応じた最適点火時期 M B T を算出することができるので、点火時期を速やかに最適点火時期 M B T に収束させることができる。最適点火時期に点火時期を収束させることにより、筒内圧を最大にして、燃焼効率の低下を防止することができる。この発明によれば、様々な運転状態および多数のエンジン関連部品に応じた膨大な数の点火時期を予めメモリに記憶しておく必要はない。

15 点火時期制御装置

図 3 は、本願発明の一実施形態に従う、点火時期制御装置のブロック図である。この装置の各ブロックの機能は、典型的には、E C U 1（図 1）のメモリ 1 c に格納されているプログラムを実行することによって実現される。代替的に、これらの機能を、ハードウェアにより実現してもよい。

変動信号生成器 4 1 は、変動信号 D I G I D を生成する。変動信号 D I G I D は、図 2 を参照して説明した変動成分に対応する。変動信号 D I G I D は、点火時期信号生成器 4 2 に渡される。一実施例では、変動信号 D I G I D の値は、予めメモリ 1 c に記憶しておくことができる。

25 点火時期信号生成器 4 2 は、検出された現在のエンジンの運転状態に基づいて所定のマップを参照し、基本値 I G B A S E を求める。この実施例では、吸入空気量 G c y l と、エンジン回転数 N E とに基づいて所定のマップを参照し、基本値 I G B A S E を求める。所定のマップの一例が図 4 に示されており、これは、図 1 のメモリ 1 c に格納されることができる。

30 好ましくは、このマップは、代表的な運転状態についてのみ点火時期

を規定する。膨大な数の運転状態に対応して点火時期を規定する必要はない。このようなマップが、必ずしも必要とされない点に注意すべきである。しかしながら、このようなマップがあれば、最適点火時期M B Tへの収束速度を向上させることができる。

- 5 吸入空気量 G_{cyl} は、式 (1) に従って算出される。ここで、 G_{th} は、エアフローメータ 21 (図 1) によって検出された値を示す。 P_b は、吸気管圧力センサ 20 (図 1) によって検出された値を示す。 V_b は、吸気管の体積 (m^3) を示す。 T_b は、吸気管の温度 (K) を示す。 R は、気体定数である。 k は、制御サイクルを識別する符号であり、
10 (k) は今回のサイクルを示し、($k-1$) は前回のサイクルを示す。

以下の実施例の説明では、制御サイクルが「 k 」で表される処理は、燃焼サイクル (4 サイクルエンジンでは、クランク角 0 ~ 720 度の周期) に同期して実施される。

$$15 \quad G_{cyl}(k) = G_{th}(k) - \frac{(P_b(k) - P_b(k-1)) \cdot V_b}{T_b \cdot R} \quad (1)$$

- 点火時期信号生成器 42 は、式 (2) に示されるように、基本値 $I G B A S E$ および補正值 $D I G O P$ の和に、変動信号生成器 41 から受け取った変動信号 $D I G I D$ を加算することによって、点火時期信号 $I G L O G$ を算出する。点火時期信号 $I G L O G$ に従って、点火プラグ 9
20 (図 1) は駆動される。

$$I G L O G = I G B A S E + D I G O P + D I G I D \quad (2)$$

- 25 補正值 $D I G O P$ は、最適点火時期M B Tに収束させるための補正值である。点火時期信号 $I G L O G$ に、変動信号 $D I G I D$ が含まれることに注意されたい。信号 $D I G I D$ のような変動成分を意図的に点火時期信号 $I G L O G$ に含ませることにより、($I G B A S E + D I G O P$) を所定範囲内で揺動させる。

- 30 以下の説明では、($I G B A S E + D I G O P$) を設定点火時期と呼

ぶことがある。設定点火時期は、現在の運転状態に基づく点火時期信号であり、最適点火時期に収束させる制御対象である。図2を参照して説明したように、設定点火時期に対して所定範囲内で点火時期が揺動するように変動信号DIGIDが加えられる。変動信号DIGIDは、燃焼状態に大きな変動を生じさせないような大きさを持つよう生成されるのが好ましい。

変動信号DIGIDが加えられた点火時期信号IGLOGに従って点火された時、筒内圧センサ15によって筒内圧Pcy1が検出される。平均有効圧算出器43は、該検出された筒内圧Pcy1について、図示平均有効圧Pmi__actを算出する。

MBT算出器44は、図示平均有効圧Pmi__actおよび該図示平均有効圧Pmi__actに対応する変動信号DIGIDに基づいて、点火時期の特性曲線を推定する。推定された特性曲線から、最適点火時期MBTが算出される。

点火時期コントローラ45は、設定点火時期が最適点火時期MBTに収束するように、上記の補正值DIGOPを算出する。

この実施例では、基準値IGBASEと補正值DIGOPの和を、最適点火時期MBTに収束させる。基準値を用いることにより、次のような利点がある。すなわち、エンジンの運転状態は、急激に変化することがある。該変化後の運転状態に応じた基準値を用いれば、より速やかに点火時期を最適点火時期MBTに収束させることができる。しかしながら、代替的に、このような基準値を用いることなく、最適点火時期に収束させるよう点火時期を制御サイクル毎に算出するように、コントローラ45を構成してもよい。

平均有効圧算出器

図5を参照して、図示平均有効圧を説明する。図5は、エンジンの燃焼室の体積と筒内圧との関係を示す。点Pにおいて、吸気弁が開き、吸気行程が開始する。筒内圧は、ピストンが上死点TDCにある点Nを経て、最小値である点Uに至るまで減少する。その後、ピストンが下死点BDCである点Kを経て、筒内圧は増加する。点Qにおいて圧縮行程が開始する。圧縮行程において、筒内圧は増加する。点Rにおいて燃焼行

程が開始し、混合気の燃焼により筒内圧は急激に増加し、点Sにおいて、筒内圧は最大になる。混合気の燃焼により、ピストンは押し下げられ、点Mで示されるBDCに向かって移動する。この移動により、筒内圧は減少する。点Tにおいて排気弁が開き、排気工程が開始する。排気工程
5 では、筒内圧はさらに減少する。

図に示される筒内圧の曲線で囲まれる面積を、ピストンの行程容積で割った値を、図示平均有効圧と呼ぶ。

代替の実施形態では、BDCである点Kから、TDCである点Lを経てBDCである点Mに至るまでの平均有効圧を、図示平均有効圧として
10 算出するようにしてもよい。

本願発明の一実施形態では、平均有効圧算出器43は、筒内圧センサの検出値を、所定のクランク角度（この実施例では、15度）のサイクルでサンプリングする。サンプリングされた筒内圧を、 $P_{cyl}(n)$ で表し、ここで n は、サンプリングサイクルを表す。

15 平均有効圧算出器43は、式(3)に従って、図示平均有効圧 P_{mi_act} を算出する。式(3)は、筒内圧の交流成分のみを抽出して、図示平均有効圧 P_{mi_act} を算出する手法を示しており、これについては、特公平8-20339号公報に詳細が示されている。

20 h は、1燃焼サイクルに要する行程数に応じた係数であり、4サイクルエンジンの場合には、 $h = 1/2$ である。2サイクルエンジンでは、 $h = 1$ となる。 λ は、コンロッドの長さ s とクランクシャフトの半径 r との比で表され、 $\lambda = s/r$ である。

$C1$ は、筒内圧 P_{cyl} における、エンジン回転数の1次成分（すなわち、エンジン回転数の1倍の周波数成分）の振幅を示し、 $\phi1$ は、筒
25 内圧 P_{cyl} における、エンジン回転数の1次成分のTDCに対する位相差を示す。 $C2$ は、筒内圧 P_{cyl} における、エンジン回転数の2次成分（すなわち、エンジン回転数の2倍の周波数成分）の振幅を示し、 $\phi2$ は、筒内圧 P_{cyl} における、エンジン回転数の2次成分のTDCに対する位相差を示す。前述したように、 k は、燃焼サイクルに同期した制御サイクルを表しており、よって図示平均有効圧 P_{mi_act} の
30 算出は、燃焼サイクル毎に実施される。

$$P_{mi_act}(k) = \frac{\pi}{2h} \left(C1(k) \cos(\phi1(k)) + \frac{1}{2\lambda} C2(k) \cos(\phi2(k)) \right) \quad (3)$$

このように、平均有効圧算出器 43 は、筒内圧 P_{cyl} の交流成分（この実施例では、1 次成分と 2 次成分）に基づいて、図示平均有効圧 P_{mi_act} を算出する。

- 5 筒内圧 P_{cyl} の 1 次成分と 2 次成分を抽出する手法について説明する。この抽出手法は、上記の特公平 8-20339 とは異なる点に注意されたい。該公報では、アナログフィルタを用いて抽出するのに対し、本願発明の一実施形態では、デジタルフィルタを用いて抽出する。

- 10 平均有効圧算出器 43 は、サンプリングされた筒内圧 $P_{cyl}(n)$ に対し、式 (4) および (5) にそれぞれ示すように、1 次フィルタおよび 2 次フィルタを適用する。 n は、前述したように、所定のクランク角度（たとえば、15 度）に同期したサンプリングサイクルを表す。

$$\begin{aligned} P_{cylod1}(n) = & aod11 \cdot P_{cylod1}(n-1) + aod12 \cdot P_{cylod1}(n-2) \\ & + aod13 \cdot P_{cylod1}(n-3) + aod14 \cdot P_{cylod1}(n-4) \\ & + bod10 \cdot P_{cyl}(n) + bod11 \cdot P_{cyl}(n-1) + bod12 \cdot P_{cyl}(n-2) \\ & + bod13 \cdot P_{cyl}(n-3) + bod14 \cdot P_{cyl}(n-4) \end{aligned} \quad (4)$$

フィルタ係数： $aod1i(i=1\sim4)$, $bod1j(j=0\sim5)$

$$\begin{aligned} P_{cylod2}(n) = & aod21 \cdot P_{cylod1}(n-1) + aod22 \cdot P_{cylod1}(n-2) \\ & + aod23 \cdot P_{cylod1}(n-3) + aod24 \cdot P_{cylod1}(n-4) \\ & + bod20 \cdot P_{cyl}(n) + bod21 \cdot P_{cyl}(n-1) + bod22 \cdot P_{cyl}(n-2) \\ & + bod23 \cdot P_{cyl}(n-3) + bod24 \cdot P_{cyl}(n-4) \end{aligned} \quad (5)$$

フィルタ係数： $aod2i(i=1\sim4)$, $bod2j(j=0\sim5)$

- 15 これらのデジタルフィルタの特性が、それぞれ、図 6 の (a) および (b) に示されている。1 次フィルタ (a) は、エンジン回転数の 1 次成分を抽出するような特性を持つバンドパスフィルタであり、2 次フィルタ (b) は、エンジン回転数の 2 次成分を抽出するような特性を持つバンドパスフィルタである。横軸は、ナイキスト周波数で正規化された

周波数を表す。

エンジン回転数に同期した周期で筒内圧 P_{cyl} がサンプリングされるので、ナイキスト周波数がエンジン回転数に従って変わる。ナイキスト周波数で正規化することにより、現在のエンジンの回転数がどのような値であっても、これらのフィルタの係数を変更することなく、エンジン回転数の 1 次成分および 2 次成分を筒内圧 P_{cyl} から抽出することができる。

一定の時間間隔でフィルタを適用する手法では、エンジン回転数が低い時には通過帯域が極度に低周波となり、よってフィルタ係数が極度に小さくなってフィルタの出力を不安定にするおそれがある。本発明の一実施形態に従う上記の手法によれば、エンジン回転数に同期してフィルタを適用することにより、このような事象を防止することができる。

1 次フィルタの適用によって得られた値 $P_{cylod1}(n)$ をアナログ波形として表すと、 $C1 \cdot \sin(\theta_{ne} + \phi 1)$ と表される。2 次フィルタの適用によって得られた値 $P_{cylod2}(n)$ をアナログ波形として表すと、 $C2 \cdot \sin(2\theta_{ne} + \phi 2)$ と表される。ここで、 θ_{ne} は、 $0 \sim 2\pi$ の値を持つエンジン回転角を表しており、ピストンが TDC にある時、 $\theta_{ne} = 0 \text{ rad}$ である。

ところで、式 (3) の $C1 \cdot \cos(\phi 1)$ および $C2 \cdot \cos(\phi 2)$ は、それぞれ、式 (6) および (7) のように表すことができる。

$$C1 \cos(\phi 1) = C1 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi 1\right) \quad (6)$$

$$C2 \cos(\phi 2) = C2 \sin\left(\frac{\pi}{2} + \phi 2\right) = C2 \sin\left(2\left(\frac{\pi}{4}\right) + \phi 2\right) \quad (7)$$

1 次フィルタの出力 $C1 \cdot \sin(\theta_{ne} + \phi 1)$ と式 (6) とを比較して明らかなように、エンジン回転角が $\pi/2$ である（すなわち、 $\theta_{ne} = \pi/2$ ）時に 1 次フィルタの出力をサンプリングすれば、式 (3) の 1 次成分 $C1 \cdot \cos(\phi 1)$ を得ることができる。同様に、2 次フィルタの出力 $C2 \cdot \sin(2\theta_{ne} + \phi 2)$ と式 (7) とを比較して明らかなように、エンジン回転角が $\pi/4$ である（すなわち、 θ

$n e = \pi / 4$) 時に 2 次フィルタの出力をサンプリングすれば、式 (3) の 2 次成分 $C 2 \cdot \cos (\phi 2)$ を得ることができる。

ここで、図 7 を参照すると、クランク角に対する筒内圧 $P c y l$ 、1 次フィルタの出力についてのアナログ波形 $C 1 \cdot \sin (\theta n e + \phi 1)$ 、および 2 次フィルタの出力についてのアナログ波形 $C 2 \cdot \sin (2 \theta n e + \phi 2)$ が示されている。アナログ波形 $C 1 \cdot \sin (\theta n e + \phi 1)$ および $C 2 \cdot \sin (2 \theta n e + \phi 2)$ は、太い線で表されており、比較のため、 $C 1 \cdot \sin (\theta n e)$ および $C 2 \cdot \sin (2 \cdot \theta n e)$ が細い線で表されている。

前述したように、 $\theta n e = \pi / 2$ である時、すなわち TDC 後 90 度の所で、1 次フィルタの出力 $C 1 \cdot \sin (\theta n e + \phi 1)$ をサンプリングした値 51 は、式 (3) の 1 次成分 $C 1 \cdot \cos (\phi 1)$ を表す。 $\theta n e = \pi / 4$ である時、すなわち TDC 後 45 度の所で、2 次フィルタの出力 $C 2 \cdot \sin (2 \theta n e + \phi 2)$ をサンプリングした値 52 は、式 (3) の 2 次成分 $C 2 \cdot \cos (\phi 2)$ を表す。

こうして、所定のクランク角度において 1 次フィルタおよび 2 次フィルタの出力をサンプリング・ホールドすることにより、式 (3) に従って図示平均有効圧 $P m i _ a c t$ を算出することができる。

TDC 後 45 度と 90 度においてデジタルフィルタからの出力をサンプリングすることができればよいので、代替的に、筒内圧のサンプリング周期を、45 度の整数分の 1 のクランク角度としてもよい (たとえば、5 度または 3 度のクランク角でサンプリングすることができる)。

図 8 を参照して、上記の、筒内圧の交流成分のみを抽出して図示有効平均圧を算出する手法の効果を説明する。波形 55 は、図 1 に示されるように車載用の筒内圧センサ 15 を車両に搭載した場合の、該筒内圧センサの検出値を示す。波形 56 は、試験用に用いられるセンサの検出値を示す。

試験用センサは、燃焼室内の混合気に直接触れるように配置され、該センサの圧電素子は、高価な単結晶で形成されている。

一方、車両に搭載される筒内圧センサに使用されている圧電素子は、通常、コストと耐久性の観点から、多結晶のセラミック系で形成される。

また、車両に搭載されているために、該圧電素子の温度を一定に保つことが困難な場合がある。そのため、試験用センサの出力を示す波形 5 6 と比較して明らかなように、車載用センサの波形 5 5 では、焦電効果や熱ドリフトに起因して検出値 P_{cyl} に“ずれ”が生じるおそれがある。

- 5 このような“ずれ”を防止するためには、圧電素子を、高価な単結晶のものとし、エンジンの運転状態の変動による燃焼室内の温度の影響を回避するよう、燃焼室から離れた所にセンサを配置する必要がある。しかしながら、これは、コスト高となる。また、センサ出力の絶対値が小さくなるので S/N 比が低下するおそれがある。
- 10 本願発明の一実施形態では、筒内圧の交流成分に基づいて図示平均有効圧 P_{mi_act} を算出するので、焦電効果や熱ドリフトに起因して現れる、1 次成分よりも遅い周波数成分を除去することができる。図 8 の (b) に示されるように、筒内圧センサ 1 5 の検出値に基づいて算出された図示平均有効圧 P_{mi_act} (波形 5 7 により表される) は、
- 15 試験用センサの検出値に基づいて同様に算出された図示平均有効圧 (波形 5 8 により表される) とほぼ同じ値を示す。

変動信号生成器および M B T 算出器

- 図 9 を参照すると、図 2 と同様の図が示されている。点火時期の特性曲線 7 1 は極大値 7 2 を持ち、極大値 7 2 に対応する点火時期が、最適
- 20 点火時期 M B T である。しかしながら、実際には、燃焼サイクルごとに燃焼状態が変動するので、点火時期に対する図示平均有効圧 P_{mi_act} は、通常、幅 7 3 を持つ網掛け領域 7 4 に示されるような範囲内に分布する。

- エンジンをテストする環境では、点火時期を遅角側から進角側に向けて変更させながら図示平均有効圧を測定することで、特性曲線 7 1 を得
- 25 ることができる。しかしながら、車両が走行している状態では、このような操作はドライバビリティを悪化させるおそれがある。

- また、従来技術のように、点火時期を、マップから抽出された値 (たとえば、I G 1 で示されている) に固定すると、該抽出された値の点火
- 30 時期に対して図示平均有効圧は、線 7 5 上に分布する。このような図示平均有効圧の 1 次元の分布からは、特性曲線 7 1 の形状 (曲率および傾

き)を推定することはできない。

ドライバビリティを悪化させることなく特性曲線 7 1 を推定するため、本願発明の一実施形態では、図 3 を参照して説明したように、変動信号生成器 4 1 を導入する。変動信号生成器 4 1 は、特性曲線 7 1 を推定する
5 ための自己励起条件を満たす変動信号を生成する。自己励起条件の数は、推定すべき特性曲線 7 1 を表す関数（これについては、後述される）に含まれる同定すべき係数の数に 1 を加算した値に等しいか、または該加算した値より大きい。

この実施例では、推定すべき特性曲線 7 1 を表す関数に、同定すべき
10 係数が 3 個含まれ、自己励起 (P E) 条件の数は 4 に設定される。こうして、変動信号生成器 4 1 は、式 (8) に示されるように、3 個の正弦波を合成した信号 D I G I D を生成する。 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ および $\delta 3$ は、振幅を表す。 $\omega 1$ 、 $\omega 2$ および $\omega 3$ は、制御周波数（この実施例では、燃焼サイクルに相当する周波数）の整数分の 1 の周波数に相当するよう設
15 定される。 ϕ および ϕ' は、位相を表す。これらのパラメータの値は、予め決められる。

$$DIGID(k) = \delta 1 \cdot \sin(\omega 1 \cdot k) + \delta 2 \cdot \sin(\omega 2 \cdot k + \psi) + \delta 1 \cdot \sin(\omega 3 \cdot k + \psi') \quad (8)$$

20 代替的に、変動信号 D I G I D は、5 個以上の自己励起条件を満たすよう生成されてもよい。たとえば、無限大数の正弦波を含むランダム波を、変動信号 D I G I D として生成してもよい。また、一連のパルス信号（たとえば、M 系列）の形態で、変動信号 D I G I D を生成してもよい。

25 図 1 0 に、一例として、変動信号 D I G I D の波形を示す。横軸は、カウンタ C d i g i d の値を示す。変動信号 D I G I D は、C d i g i d _ m a x の周期を持つよう生成される。カウンタ値 C d i g i d に対応する変動信号 D I G I D を、マップとしてメモリ 1 c (図 1) に格納することができる。

30 各制御サイクルにおいて、カウンタの値がインクリメントされる。カウンタ値に対応する変動信号 D I G I D の値が、該マップから抽出され

る。カウンタが $C d i g i d_m a x$ に達したならば、該カウンタはゼロにリセットされる。

符号 77 は、変動信号 $D I G I D$ のとりうる値の範囲を示す。変動信号 $D I G I D$ は、ゼロを中心にプラス方向とマイナス方向に揺動するよう生成される。しかしながら、変動信号 $D I G I D$ の揺動する範囲を、

変動信号 $D I G I D$ の変動幅 77 は、通常の運転状態で現れる、図 9 に示されるような図示平均有効圧の変動幅 73 内に収まるように設定されるのが好ましい。このように変動信号 $D I G I D$ を生成することにより、変動信号 $D I G I D$ によって燃焼状態が影響されることを回避することができる。

図 11 を参照して、 $M B T$ 算出器 44 により実施される、変動信号 $D I G I D$ を用いて点火時期の特性曲線 71 を推定する手法を説明する。図に示される範囲 81 は、図 10 の変動信号 $D I G I D$ が揺動する範囲 77 に対応する。設定点火時期は、前述したように、基準値 $I G B A S E$ と補正值 $D I G O P$ との和である。この設定点火時期に、変動信号 $D I G I D$ を加えることにより、結果としての点火時期信号 $I G L O G$ が範囲 81 内で揺動する。

変動信号 $D I G I D$ によって点火時期が範囲 81 内で揺動した時の図示平均有効圧の分布する範囲が、網掛けされた領域 82 で表されている。この領域 82 内に分布した図示平均有効圧に基づいて、特性曲線 71 を推定することができる。

図 9 を参照して説明したように、マップから抽出された値に固定される点火時期に対しては、図示平均有効圧は線 75 上にしか分布しないので、特性曲線の形状（傾きおよび曲率）を推定することはできない。しかしながら、本願発明の一実施形態では、変動信号 $D I G I D$ を用いて点火時期を範囲 81 内で揺動させることにより、線のような 1 次元ではなく、2 次元の広がりを持つ領域 82 上の図示平均有効圧が取得され、よって特性曲線の形状を推定することができる。

特性曲線 71 を推定する具体的な方法を説明する。まず、特性曲線 71 を、式 (9) に示されるような、変動信号 $D I G I D$ の 2 次関数

Fmbtとして定義することができる。

$$Fmbt(DIGID)=Aigop \cdot DIGID^2+Bigop \cdot DIGID+Cigop \quad (9)$$

5 A i g o p、B i g o pおよびC i g o pは、同定すべき係数である。これらの係数を、変動信号D I G I Dによって領域82内に分布した図示平均有効圧から同定することができる。同定手法の詳細については、後述する。

10 図12を参照すると、同定された係数A i g o p、B i g o pおよびC i g o pにより導き出された推定曲線83が示されている。推定曲線83が、実際の特性曲線71にほぼ一致しているのがわかる。設定点火時期と最適点火時期M B Tとの偏差E I G O Pが、矢印84により示されている。推定曲線83の極大値72は式(9)を微分することにより求められるので、偏差E I G O Pは、式(10)のように算出される。

15

$$EIGOP = \frac{-Bigop}{2 \cdot Aigop} \quad (10)$$

設定点火時期は、最適点火時期M B Tに対して偏差E I G O Pを持つ。この偏差をなくすように設定点火時期を制御すれば、最適点火時期M B Tにおける点火を実現することができる。この制御手法については、
20 「点火時期コントローラ」のセクションで説明する。

実際の特性曲線71が厳密な2次関数ではないので、設定点火時期が最適点火時期M B Tから離れている場合には、推定曲線83に誤差が含まれるおそれがある。しかしながら、点火時期コントローラ45により
25 偏差E I G O Pをゼロに収束させることにより、設定点火時期を最適点火時期M B Tに収束させることができる。

ここで、上記の関数F m b tに含まれる係数A i g o p、B i g o pおよびC i g o pの同定手法について説明する。変動信号D I G I Dの前回値を推定曲線の関数F m b tに代入することにより得られる推定平均有効圧P m i _ h a tが、該変動信号を用いた結果実際に検出された
30

筒内圧に基づいて平均有効圧算出器 43 により算出された P_{mi_act} に一致するように、該係数は同定される。

この同定手法には、最小 2 乗法および最尤法などの既知の手法を用いることができる。この発明の一実施形態では、より効率的な手法である δ 修正法を用いる。 δ 修正法については、本願の出願人による、特許第 3304845 号公報に詳細が記載されている。ここでは、簡単に、 δ 修正法を用いてこれらの係数を同定する手法について説明する。

δ 修正法に従う逐次型同定アルゴリズムは、式 (11) のように表される。係数ベクトル $\theta(k)$ は、その基準値 $\theta_{base}(k)$ と、その更新成分 $d\theta(k)$ との和で表される。 δ は、式 (16) で表される忘却係数ベクトルである。

$$\theta(k) = \theta_{base}(k) + d\theta(k) \quad (11)$$

$$d\theta(k) = \delta \cdot d\theta(k-1) + KP(k) \cdot E_{id}(k) \quad (12)$$

$$\text{ここで、} \theta^T(k) = [Aigop(k), Bigop(k), Cigop(k)] \quad (13)$$

$$d\theta^T(k) = [Aigop(k) - Aigop_{base}, dBigop(k), dCigop(k)] \quad (14)$$

$$\theta_{base}^T(k) = [Aigop_{base}(k), 0, Cigop_{base}(k)] \quad (15)$$

$$\delta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \delta' & 0 \\ 0 & 0 & \delta' \end{bmatrix} \quad (0 < \delta' < 1) \quad (16)$$

忘却係数ベクトル δ において、 $Aigop$ に対応する要素は値 1 に設定され、 $Bigop$ および $Cigop$ に対応する要素は、ゼロより大きく 1 より小さい値 δ' に設定される。これは、同定誤差 E_{id} がゼロに収束した時、 $Aigop$ だけが残し、 $Bigop$ および $Cigop$ が忘れられる、という効果を持つ。

式 (12) で示される式に表される同定誤差 $E_{id}(k)$ は、式 (17) により表される。すなわち、同定誤差 E_{id} は、変動信号 $DIGID$ の前回値が点火時期信号に含められた結果検出された筒内圧に基づいて平均有効圧算出器 43 により算出された図示平均有効圧 P_{mi_act} と、変動信号 $DIGID$ の前回値を入力として関数 F_{mbt} に基づいて算出された推定図示平均有効圧 P_{mi_hat} との差である。

$$E_id(k) = Pmi_act(k) - Pmi_hat(k) \quad (17)$$

ここで、 $Pmi_hat(k) = \theta^T(k) \cdot \zeta(k)$

$$= Aigop(k) \cdot DIGID(k-1)^2 + Bigop \cdot DIGID(k-1) + Cigop(k) \quad (18)$$

$$\zeta^T(k) = [DIGID(k-1)^2, DIGID(k-1), 1] \quad (19)$$

ゲイン $KP(k)$ は、式 (20) により表される。P は、式 (21) により表される。式 (20) の係数 $\lambda 1$ および $\lambda 2$ の設定により、同定

5 アルゴリズムの種類が、以下のように決まる。

$\lambda 1 = 1$ 、 $\lambda 2 = 0$: 固定ゲインアルゴリズム

$\lambda 1 = 1$ 、 $\lambda 2 = 1$: 最小 2 乗法アルゴリズム

$\lambda 1 = 1$ 、 $\lambda 2 = \lambda$: 漸減ゲインアルゴリズム (λ は、0、1 以外の所定値)

10 $\lambda 1 = \lambda$ 、 $\lambda 2 = 1$: 重み付き最小 2 乗法アルゴリズム (λ は、0、1 以外の所定値)。

$$KP(k) = \frac{P(k-1) \cdot \zeta(k)}{1 + \zeta^T(k) \cdot P(k-1) \cdot \zeta(k)} \quad (20)$$

$$P(k) = \frac{1}{\lambda 1} \left(I - \frac{\lambda 2 \cdot P(k-1) \cdot \zeta(k) \cdot \zeta^T(k)}{\lambda 1 + \lambda 2 \cdot \zeta^T(k) \cdot P(k-1) \cdot \zeta(k)} \right) P(k-1) \quad (21)$$

ここで、I は (3×3) の単位行列

15 点火時期が最適点火時期 MBT に十分収束すると、点火時期の揺動に対する図示平均有効圧の変動が小さくなる。このような定常状態において、他の同定手法によると、同定する係数がドリフトするおそれがある。

本願発明の上記手法によれば、上記の式 (11) に示されるように、係数ベクトル $\theta(k)$ は、その基準値 $\theta_base(k)$ と、その更新成分 $d\theta(k)$ との和で表される。同定誤差 E_id が十分ゼロに近づくと、式 (12) から明らかなように、更新成分 $d\theta$ は ($Aigop(k-1) - Aigop_base, 0, 0$) に収束し、よって式 (11) から明らかなように、係数ベクトル θ は ($Aigop(k-1), 0, Cigop_base$) に収束する。係数 $Aigop$ の値がゼロと

ならないように同定されるので、式(10)においてゼロによる除算が回避され、よって最適点火時期MBTへの制御が発散することを回避することができる。

また、同定誤差 E_{id} が十分ゼロに近づくと、係数 B_{igop} はゼロに収束するので、式(10)に示される、最適点火時期MBTに対する偏差 E_{IGOP} はゼロになる。偏差 E_{IGOP} がゼロに収束するので、最適点火時期MBTに点火時期を収束させるフィードバック制御が自動的に停止する。

また、何らかの異常な燃焼により、点火時期の揺動に対する図示平均有効圧の変動が大きくなった場合、変動信号 $DIGID$ と平均有効圧 P_{mi_act} との間の相関性がなくなるおそれがある。このような場合、誤差 E_{id} が白色雑音状態となり、該誤差 E_{id} の平均値がゼロになる。その結果、係数ベクトル θ は基準値 θ_{base} に収束し、これによって、最適点火時期MBTへのフィードバック制御が自動的に停止する。

このように、 δ 修正法によれば、同定誤差 E_{id} が十分小さい定常状態において、同定すべき係数の値がドリフトすることを防止することができる。

本願発明の一実施形態では、このように同定された係数 A_{igop} に対して、式(22)に示されるように関数 L_{ima} を適用する。関数 $L_{ima}(x)$ は、 x をゼロより小さい値に拘束する関数である。 $L_{ima}(A_{igop})$ により、 A_{igop} は、負の値を持つよう拘束される。

$$A_{igop} \leftarrow L_{ima_a}(A_{igop}) \quad (22)$$

係数 A_{igop} を負の値に拘束する関数 L_{ima} を適用する理由を、図13を参照して説明する。図13は、設定点火時期が最適点火時期MBTに十分に収束し、変動信号 $DIGID$ によって図示平均有効圧 P_{mi_act} がほとんど変化しない(すなわち平坦な)状態を示す。実際の特性曲線は符号91によって表されている。このような状態では、推

定曲線が、下向きに凸を持つ形状（すなわち、 $Aigop \geq 0$ ）の曲線 94 として、誤って推定されるおそれがある。このような誤った推定は、最適点火時期 MBT の算出に誤差が生じさせるおそれがある。これを回避するため、関数 Lim_a を適用して、上向きに凸を持つ形状（すなわち、 $Aigop < 0$ ）の曲線 93 として推定曲線が算出されるようにする。

点火時期コントローラ

点火時期コントローラ 45 は、推定曲線から算出された最適点火時期に収束するよう点火時期を制御する。具体的には、最適点火時期 MBT に対する偏差 $EIGOP$ がゼロに収束するように、補正值 $DIGOP$ を算出する。補正值 $DIGOP$ を基準値 $IGBASE$ に加えることにより、偏差 $EIGOP$ が補償されるようにする。

点火時期コントローラ 45 は、応答指定型制御を用いて、偏差 $EIGOP$ をゼロに収束させるための制御入力すなわち補正值 $DIGOP$ を算出する。算出式は、式 (23) により示される。

$$DIGOP(k) = -Krch \cdot \sigma(k) - Kadp \sum_{i=0}^k \sigma(i) \quad (23)$$

$$\sigma(k) = EIGOP(k) + POLE \cdot EIGOP(k-1) \quad (24)$$

ここで、 $Krch, Kadp > 0$

応答指定型制御は、制御量（ここでは、偏差 $EIGOP$ ）の目標値（ここでは、ゼロ）への収束特性を指定することができる制御である。応答指定型制御によれば、偏差 $EIGOP$ を、オーバーシュートを生じさせることなくゼロに収束させることができる。

応答指定型制御では切り換え関数 σ が設定される。POLE は切換関数 σ の応答指定パラメータであり、偏差 $EIGOP$ の収束速度を規定する。POLE は、好ましくは、 $-1 < POLE < 0$ を満たすよう設定される。

切換関数 $\sigma(k) = 0$ とした式は等価入力系と呼ばれ、偏差 $EIGOP$ の収束特性を規定する。 $\sigma(k) = 0$ とすると、式 (24) の切り換え関数 σ は式 (25) のように表されることができる。

$$\text{EIGOP}(k) = -\text{POLE} \cdot \text{EIGOP}(k-1) \quad (25)$$

ここで、図 14 を参照して、切り換え関数について説明する。縦軸が
5 E I G O P (k) および横軸が E I G O P (k-1) の位相平面上に、式 (2
5) の切り換え関数 σ が、線 95 で表現されている。この線 95 を切
換線と呼ぶ。E I G O P (k-1) および E I G O P (k) の組合せからなる状態
量 (E I G O P (k-1), E I G O P (k)) の初期値が、点 96 で表されて
いるとする。応答指定型制御は、点 96 で表される状態量を、切換線 9
10 5 上に載せて該切換線 95 上に拘束するよう動作する。

応答指定型制御によると、状態量を切換線 95 上に保持することによ
り、該状態量を、外乱等の影響されることなく、極めて安定的に位相平
面上の原点 0 に収束させることができる。言い換えると、状態量 (E I
G O P (k-1), E I G O P (k)) を、式 (25) に示される入力のない安
15 定系に拘束することにより、外乱およびモデル化誤差に対してロバスト
に、偏差 E I G O P をゼロに収束させることができる。

この実施例では、切換関数 σ に関する位相空間が 2 次元であるので、
切換線は直線 95 で表される。位相空間が 3 次元である場合には、切換
線は平面で表され、位相空間が 4 次元以上になると、切換線は超平面と
20 なる。

応答指定パラメータ P O L E は、可変に設定することができる。応答
指定パラメータ P O L E を調整することにより、偏差 E I G O P の収束
速度を指定することができる。

図 15 を参照すると、参照番号 97、98 および 99 は、応答指定パ
25 ラメータ P O L E が、それぞれ、-1、-0.8、-0.5 の場合の偏
差 E I G O P の収束速度を示す。応答指定パラメータ P O L E の絶対値
が小さくなるにつれ、偏差 E I G O P の収束速度は速くなる。

一実施形態に従う点火時期制御の効果

図 16 および図 17 を参照して、本願発明の一実施形態に従う点火時
30 期制御の効果を説明する。

図 16 は、点火時期 I G L O G を、現在の運転状態に基づいて所定の

マップから求めた基準値 $IGBASE$ に、変動信号 $DIGID$ を加算することによって算出した場合の、実際の図示平均有効圧 P_{mi_act} を示す。補正值 $DIGOP$ を用いた最適点火時期 MBT へのフィードバック制御は行われていない。

- 5 時間 t_1 において、エンジンの運転状態が変化する。変化後の運転状態に基づく基準値 $IGBASE$ が新たにマップから抽出される。マップから抽出される基準値 $IGBASE$ が、最適点火時期よりも、遅角した値を持つと仮定する。その結果、点火時期は遅角側に変化する（すなわち、リタードする）。点火時期がリタードしたことにより、実際の図示平均有効圧 P_{mi_act} は低下する。最適点火時期 MBT に対応する図示平均有効圧のレベルが、参照符号 101 により示されている。点火時期が最適点火時期 MBT に収束することができないので、実際の図示平均有効圧 P_{mi_act} とレベル 101 との“ずれ”は解消されない。

- 10 このように、点火時期を最適点火時期に収束させるフィードバック制御を実施しないと、図示平均有効圧が低下した状態に維持され、よって燃焼効率の低下を招くおそれがある。

- 図 17 は、本願発明の一実施形態に従う点火時期のフィードバック制御を実施した場合を示す。変動信号 $DIGID$ が設定点火時期信号（ $IGBASE + DIGOP$ ）に加算されているので、点火時期信号 $IGLOG$ は揺動している。

- 20 時間 $t_0 \sim t_1$ の間、点火時期信号 $IGLOG$ は最適点火時期 MBT に収束しており、よって実際の図示平均有効圧 P_{mi_act} も、該 MBT に対応するレベルにある。点火時期信号 $IGLOG$ が最適点火時期 MBT に収束しているため、補正值 $DIGOP$ の値はほぼゼロである。

- 25 時間 t_1 において、エンジンの運転状態が変化する。この変化に起因して、基準値 $IGBASE$ は最適点火時期 MBT から外れ、よって点火時期信号 $IGLOG$ も最適点火時期 MBT から外れる。その結果、実際の図示平均有効圧 P_{mi_act} が低下し、最適点火時期 MBT に対応するレベル 105 よりも低下する。

- 30 MBT 算出器 44 は、変動信号 $DIGID$ に基づいて関数 F_{mbt} により推定された図示平均有効圧 P_{mi_hat} が、実際の図示平均有効

圧 P_{mi_act} と一致するように、係数 A_{igop} 、 B_{igop} および C_{igop} を同定する。その結果、推定図示平均有効圧 P_{mi_hat} が、実際の平均有効圧 P_{mi_act} に追従して推移する。係数 A_{igop} 、 B_{igop} および C_{igop} の同定により、最適点火時期 MBT が算出される。さらに、設定点火時期 ($IGBASE + DIOP$) の最適点火時期 MBT に対する偏差 E_{IGOP} が算出される。

時間 t_2 のあたりで、偏差 E_{IGOP} が上昇しているのがわかる。点火時期コントローラ 45 は、偏差 E_{IGOP} が補償されるように、補正值 D_{IGOP} を算出する。偏差 E_{IGOP} の立ち上がりには追従するように、補正值 D_{IGOP} が上昇しているのがわかる。

補正值 D_{IGOP} が加えられることにより、点火時期信号 $IGLOG$ は、進角側に補正される。その結果、およそ時間 t_3 において、点火時期信号 $IGLOG$ は最適点火時期 MBT に復帰する。点火時期信号 $IGLOG$ が最適点火時期 MBT に収束したので、実際の図示平均有効圧 P_{mi_act} は、最適なレベル 105 に復帰する。

このシミュレーションでは、基準値について、 $A_{igop_base} = -2$ 、 $B_{igop_base} = 0$ 、 $C_{igop_base} = 300$ のように設定している。前述したように、同定誤差が十分ゼロに収束して点火時期信号 $IGLOG$ が最適点火時期 MBT に収束すると、係数 B_{igop} が基準値ゼロに収束する。その結果、偏差 E_{IGOP} にゼロが設定され、フィードバック制御が自動的に停止する（矢印 106 は、時間 t_4 あたりでフィードバック制御が自動停止に至ったことを表している）。

制御フロー

図 18 は、点火時期制御のプロセスのメインルーチンを示す。このルーチンは、燃焼サイクルに同期して実施される。このフローチャートは、単気筒エンジンについてのプロセスを一例として示している。多気筒エンジンの場合には、各気筒の燃焼サイクルごとに、該気筒についての該プロセスが実施される。たとえば、4 気筒エンジンの場合には、180 度のクランク角度ごとに、いずれかの気筒のプロセスが開始される。

ステップ S1 において、動弁系（可変位相機構、可変リフト機構等を

含むことができる) および圧縮比可変機構などに、何らかの故障が検知されたかどうかを判断する。故障が検知されたならば、動弁系によってトルク制御を実施することができない。したがって、エンジン回転数を一定に保つように点火時期を算出するフェールセーフ制御を実施する (S 2)。

フェールセーフ制御は、たとえば、前述した応答指定型制御により実現することができる。エンジン回転数が所定の目標値 (たとえば、2000 rpm) に収束するように、点火時期 $I g_f s$ を算出する。この応答指定型制御を実現する算出式を、以下に示す。

$$I g_f s = I g_f s_base - K r c h' \cdot \sigma'(k) - K a d p' \cdot \sum_{i=0}^k \sigma'(i) \quad (26)$$

$$\sigma'(k) = E n f s(k) + P O L E' \cdot E n f s(k-1) \quad (27)$$

$$E n f s(k) = N E(k) - N E_f s \quad (28)$$

$K r c h'$, $K a d p'$: フィードバックゲイン

$P O L E'$: 応答指定パラメータ ($-1 < P O L E' < 0$)

$N E_f s$: エンジン回転数の目標値 (ex. 2000 rpm)

$I g_f s_base$: フェールセーフ用の基準値 (ex. 0 deg)

ステップ S 3 において、算出された $I g_f s$ が、点火時期 $I G L O G$ に設定される。

ステップ S 1 において故障が検知されなければ、エンジンが始動中かどうかを判断する (S 4)。始動中ならば、点火時期 $I G L O G$ は、所定値 (たとえば、+10 度) に設定される (S 5)。

エンジンが始動中でなければ、ステップ S 6 において、アクセルペダルが全閉かどうかを判断する。アクセルペダルが全閉ならば、エンジンはアイドル状態にあることを示す。ステップ S 7 に進み、触媒昇温制御を実施するために設定された所定時間が経過したかどうかを判断する。

該所定時間が経過していなければ、触媒昇温制御が実行中であることを示す。触媒昇温制御は、触媒の温度を急速に上昇させて、触媒を活性化させる制御である。触媒昇温制御では、エンジン回転数が目標値に収束するように、点火時期をリタードさせる。この制御を、ステップ S 2 と

同様に、応答指定型制御で実現することができる。以下に、触媒昇温制御を実現するための算出式を示す。

$$I g_ast = I g_ast_base - K rch'' \cdot \sigma''(k) - K a d p'' \cdot \sum_{i=0}^k \sigma''(i) \quad (29)$$

$$\sigma''(k) = E n a s t(k) + P O L E'' \cdot E n a s t(k-1) \quad (30)$$

$$E n a s t(k) = N E(k) - N E_ast \quad (31)$$

$K rch''$, $K a d p''$: フィードバックゲイン

$P O L E''$: 応答パラメータ ($-1 < P O L E'' < 0$)

$N E_ast$: エンジン回転数の目標値 (ex. 1800rpm)

$I g_ast_base$: 触媒昇温制御用の基準値 (ex. +5 deg)

- 5 ステップ S 9 において、算出された $I g_ast$ が、点火時期 $I G L O G$ に設定される。

ステップ S 7 において触媒昇温制御が終了したならば、本願発明に従う最適点火時期 $M B T$ へのフィードバック制御 (図 19) を実施する (S 10)。

- 10 図 19 は、最適点火時期 $M B T$ へのフィードバック制御のフローチャートを示す。

ステップ S 21 において、1 次フィルタと 2 次フィルタの出力についてサンプリングされた値を受け取り、前述した式 (3) に従って、図示平均有効圧 $P m i_act$ を算出する。1 次フィルタと 2 次フィルタの

15 出力をサンプリングするフローチャートは、図 20 に示される。

ステップ S 22 において、前述した式 (11) ~ (22) に従い、係数 $A i g o p$ 、 $B i g o p$ および $C i g o p$ を算出し、式 (9) で表されるような推定曲線を特定する。ステップ S 23 において、式 (10) に基づいて、偏差 $E I G O P$ を算出する。

- 20 ステップ S 24 において、式 (23) および (24) に示される応答指定型制御を実施して、偏差 $E I G O P$ をゼロに収束させるための補正值 $D I G O P$ を算出する。

ステップ S 25 において、現在のエンジン回転数 $N E$ および吸入空気量 $G c y l$ に基づいて、図 4 に示されるようなマップを参照し、基準値

- 25 $I G B A S E$ を求める。

ステップS 2 6において、カウンタC d i g i dを1だけインクリメントする。図1 0を参照して説明したように、カウンタC d i g i dの値により、使用すべき変動信号が決まる。ステップS 2 7において、カウンタC d i g i dの値が、C d i g i d__m a x（これは、変動信号DIGIDの1周期に相当する値）より大きくなったならば、カウンタをクリアする（S 2 8）。カウンタC d i g i dの値がC d i g i d__m a x以下ならば、ステップS 2 9に進む。

ステップS 2 9において、図1 0に示されるようなテーブルを参照し、カウンタC d i g i dに対応する変動信号DIGIDの今回値を求める。

ステップS 3 0において、基準値I G B A S E、補正值DIGOP、および変動信号DIGIDを加算し、点火時期信号I G L O Gを算出する。

ステップS 2 1～S 2 4と、ステップS 2 5～S 2 9とを並列に処理してもよい。

図2 0は、筒内圧のサンプリングプロセスを示すフローチャートである。このルーチンは、1 5度のクランク角のサイクルで実行される。

ステップS 3 1において、筒内圧センサの検出値P c y lをサンプリングする。ステップS 3 2において、該検出値P c y lに、1次フィルタを適用する。ステップS 3 3において、該検出値P c y lに、2次フィルタを適用する。

ステップS 3 4において、現在のクランク角度が、TDC後4 5度であるかどうかを判断する。TDC後4 5度になれば、2次フィルタの出力値をサンプリングし、メモリに記憶する（S 3 5）。ステップS 3 6において、現在のクランク角度が、TDC後9 0度であるかどうかを判断する。TDC後9 0度になれば、1次フィルタの出力値をサンプリングし、メモリに記憶する（S 3 7）。

ステップS 3 5でサンプリングされる2次フィルタの出力C 2・c o s（ $\phi 2$ ）、およびステップS 3 7においてサンプリングされる1次フィルタの出力C 1・c o s（ $\phi 1$ ）は、図1 9のステップS 2 1に渡される。

本発明は、汎用の（例えば、船外機等の）内燃機関に適用可能である。

請求の範囲

1. 内燃機関の点火時期を制御する装置であって、

5 設定点火時期に変動成分を加えて、点火を実施するための最終点火時期を算出する点火時期算出器と、

前記最終点火時期に従って点火を実施した時に検出された筒内圧の図示平均有効圧を算出する平均有効圧算出器と、

10 前記図示平均有効圧と前記変動成分とに基づいて、該図示平均有効圧と該変動成分との相関関係を表す点火時期特性曲線を推定し、該特性曲線から、最適点火時期を算出するMBT算出器と、

前記最適点火時期に収束するように、前記設定点火時期を制御するコントローラと、

を備える、内燃機関の点火時期制御装置。

15 2. 前記点火時期特性曲線は、前記変動成分を入力とし、前記図示平均有効圧を出力とする関数で表され、

前記MBT算出器は、さらに、前記平均有効圧算出器により算出された図示平均有効圧に基づいて、該関数における該変動成分に関連付けられた係数を同定する同定器を備え、該係数の同定により前記点火時期特性曲線を推定する、

20 請求項1に記載の内燃機関の点火時期制御装置。

3. さらに、前記変動成分を生成する生成器を備え、

前記変動成分生成器は、前記関数の前記係数を同定するための自己励起条件を満たすように該変動成分を生成する、

請求項2に記載の内燃機関の点火時期制御装置。

25 4. 前記同定器は、さらに、

前記平均有効圧算出器により算出された図示平均有効圧と、前記関数から推定された推定図示平均有効圧との偏差がゼロになるように、前記係数の更新成分を算出し、該偏差がゼロに近づくにつれ、予め設定された基準値に該係数が収束するように、該基準値に該係数の更新成分を加算して該係数を算出するよう構成されており、

前記係数が前記基準値に収束した時に、前記最適点火時期に前記設定

点火時期を収束させる前記制御が停止するように、該基準値は設定される、

請求項 2 に記載の内燃機関の点火時期制御装置。

- 5 5. 前記係数のうちの少なくとも 1 つに所定の制限処理を実施し、前記点火時期特性曲線が、下側の凸状を持つ曲線として推定されることを防ぐようにする、

請求項 2 に記載の内燃機関の点火時期制御装置。

- 10 6. 前記平均有効圧算出器は、前記検出された筒内圧の交流成分を抽出し、該交流成分に基づいて前記図示平均有効圧を算出するよう構成される、

請求項 1 に記載の内燃機関の点火時期制御装置。

7. 前記コントローラは、前記設定点火時期の前記最適点火時期への応答特性を指定することのできる応答指定型制御を用いて、該設定点火時期を制御する、

- 15 請求項 1 に記載の内燃機関の点火時期制御装置。

8. 内燃機関の点火時期を制御する方法であって、

(a) 設定点火時期に変動成分を加えて、点火を実施するための最終点火時期を算出するステップと、

- 20 (b) 前記最終点火時期に従って点火を実施した時に検出された筒内圧の図示平均有効圧を算出するステップと、

(c) 前記図示平均有効圧と前記変動成分とに基づいて、該図示平均有効圧と該変動成分との相関関係を表す点火時期特性曲線を推定するステップと、

- 25 (d) 前記特性曲線から、最適点火時期を算出するステップと、

(e) 前記最適点火時期に収束するように、前記設定点火時期を制御するステップと、

を含む方法。

9. 前記点火時期特性曲線は、前記変動成分を入力とし、前記図示平均有効圧を出力とする関数で表され、

- 30 前記ステップ (c) は、さらに、

(c 1) 前記図示平均有効圧に基づいて、該関数における該変動成分

に関連付けられた係数を同定し、該係数の同定により前記点火時期特性曲線を推定するステップを含む、

請求項 8 に記載の方法。

- 10 10. さらに、前記関数の前記係数を同定するための自己励起条件を満たすように前記変動成分を生成するステップを含む、

請求項 9 に記載の方法。

11. 前記ステップ (c 1) は、さらに、

- 10 前記ステップ (b) で算出された図示平均有効圧と、前記関数から推定される推定図示平均有効圧との偏差がゼロになるように、前記係数の更新成分を算出するステップと、

該偏差がゼロに近づくにつれ、予め設定された基準値に該係数が収束するように、該基準値に該係数の更新成分を加算して該係数を算出するステップと、を含み、

- 15 前記係数が前記基準値に収束した時に、前記最適点火時期に前記設定点火時期を収束させる前記制御が停止するように、該基準値は設定される、

請求項 9 に記載の方法。

- 20 12. さらに、前記点火時期特性曲線が、下側の凸状を持つ曲線として推定されることを防ぐように、前記係数のうちの少なくとも 1 つに所定の制限処理を実施するステップを含む、

請求項 9 に記載の方法。

13. 前記ステップ (b) は、さらに、

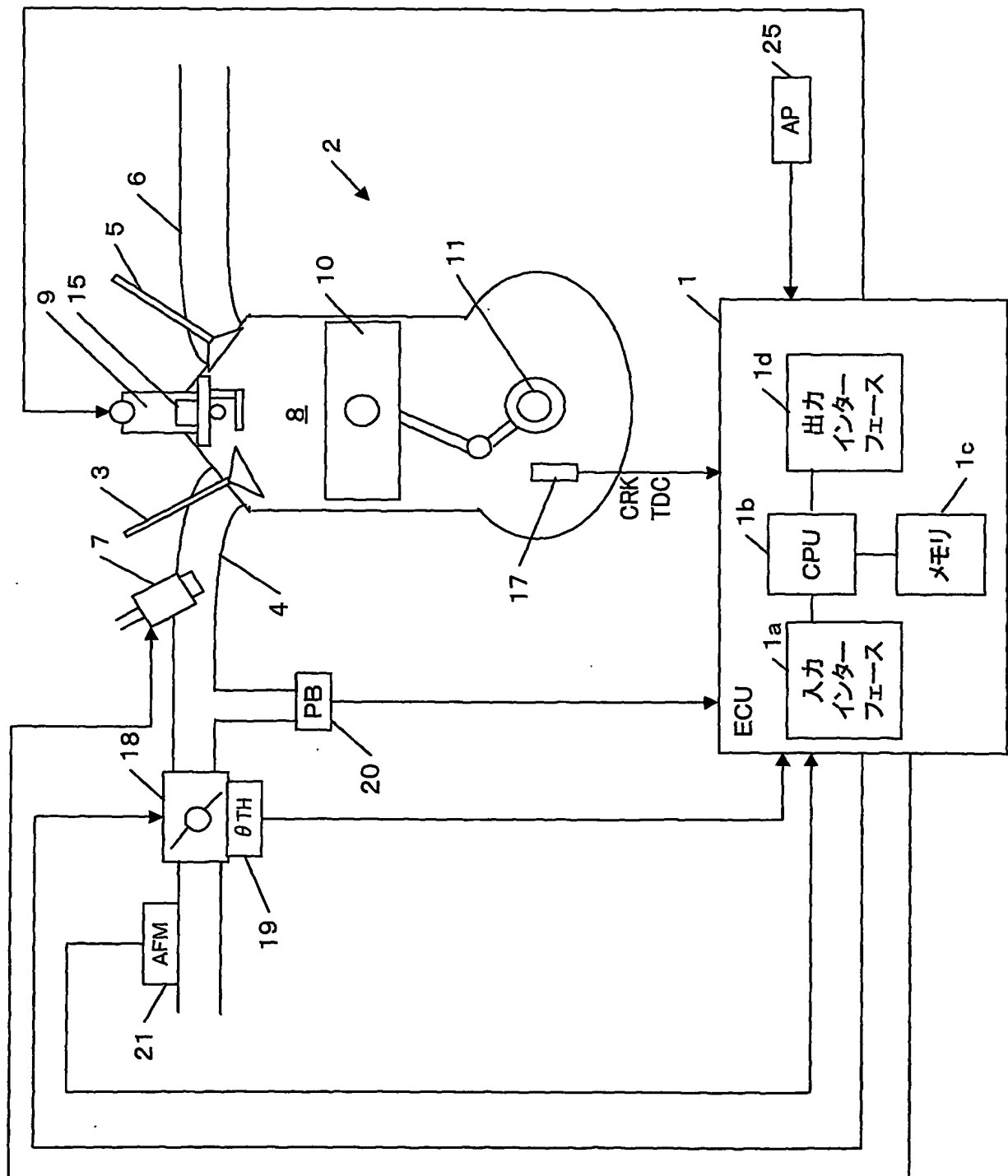
前記検出された筒内圧の交流成分を抽出し、該交流成分に基づいて前記図示平均有効圧を算出するステップを含む、

- 25 請求項 8 に記載の方法。

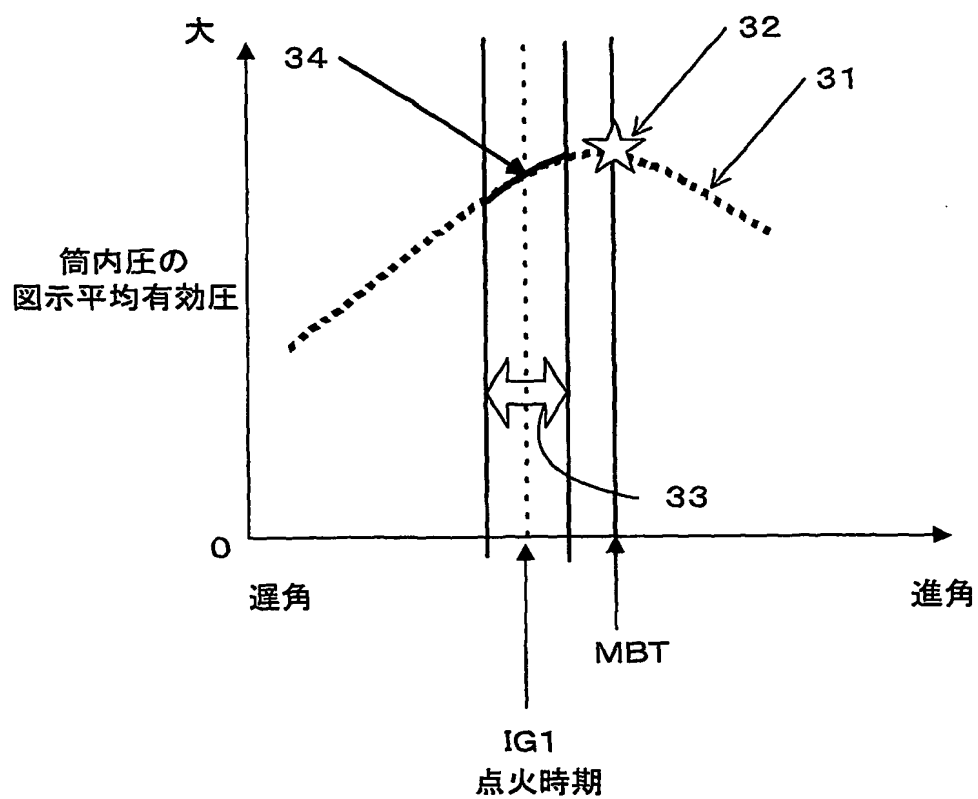
14. 前記ステップ (e) は、さらに、前記設定点火時期の前記最適点火時期への応答特性を指定することのできる応答指定型制御を用いて、該設定点火時期を制御するステップを含む、

請求項 8 に記載の方法。

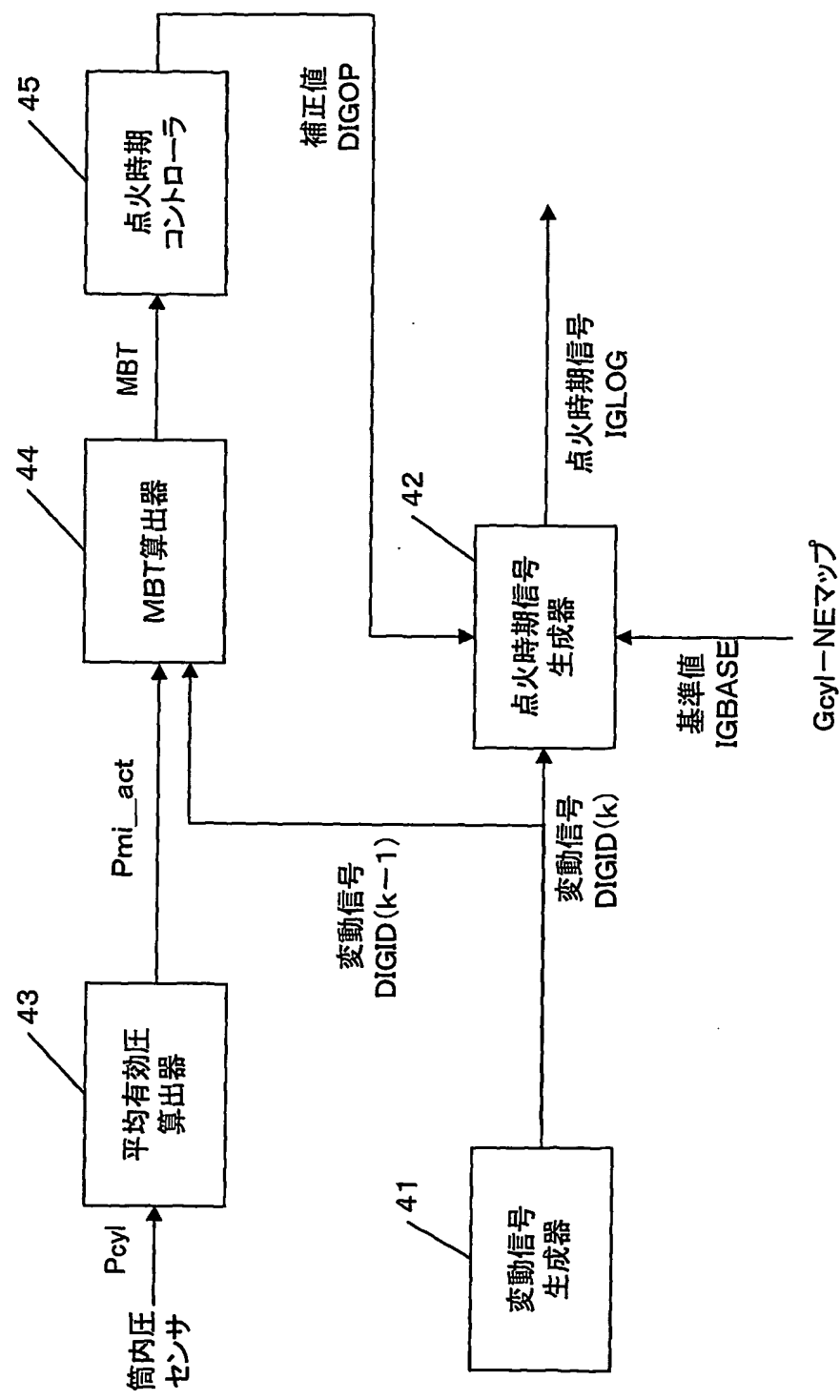
第1図



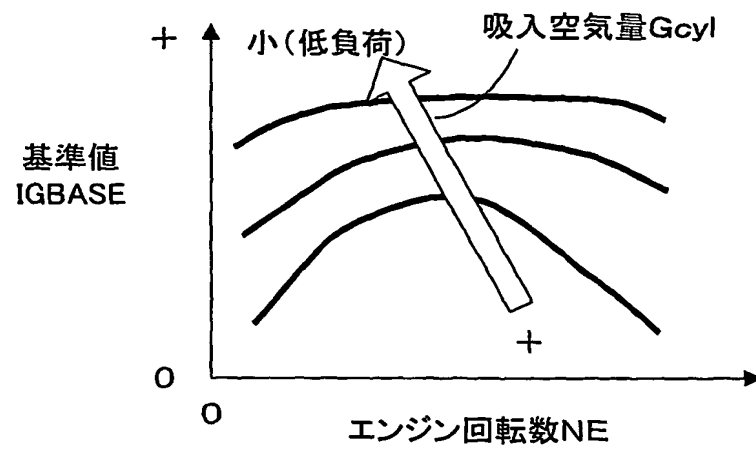
第2図



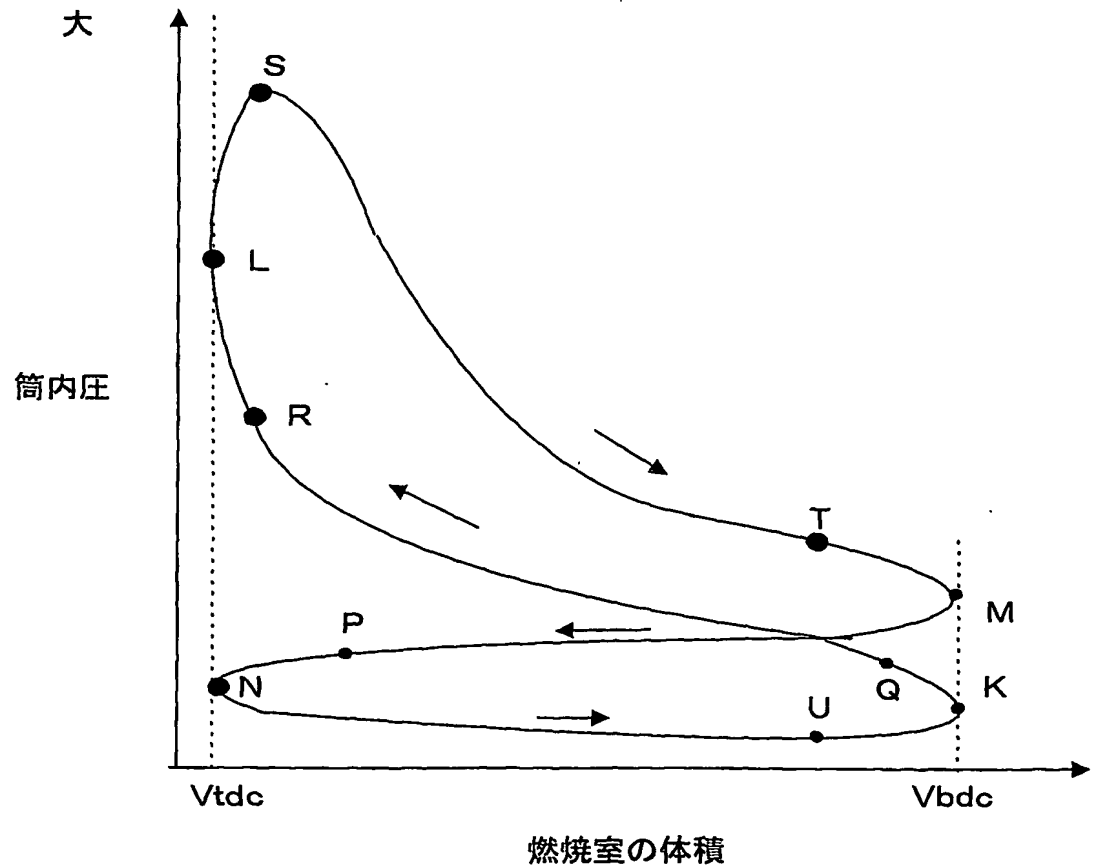
第3図



第4図

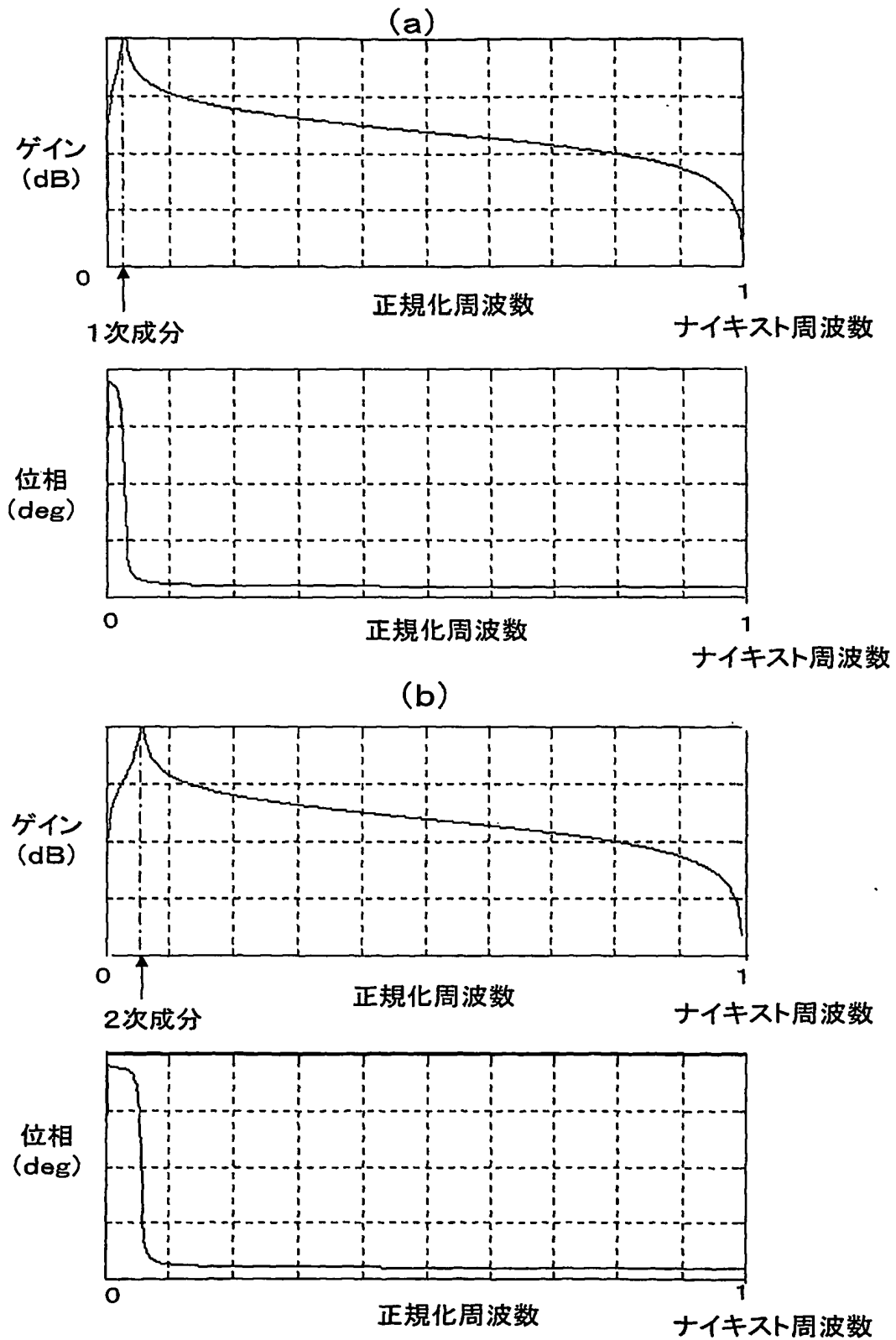


第5図



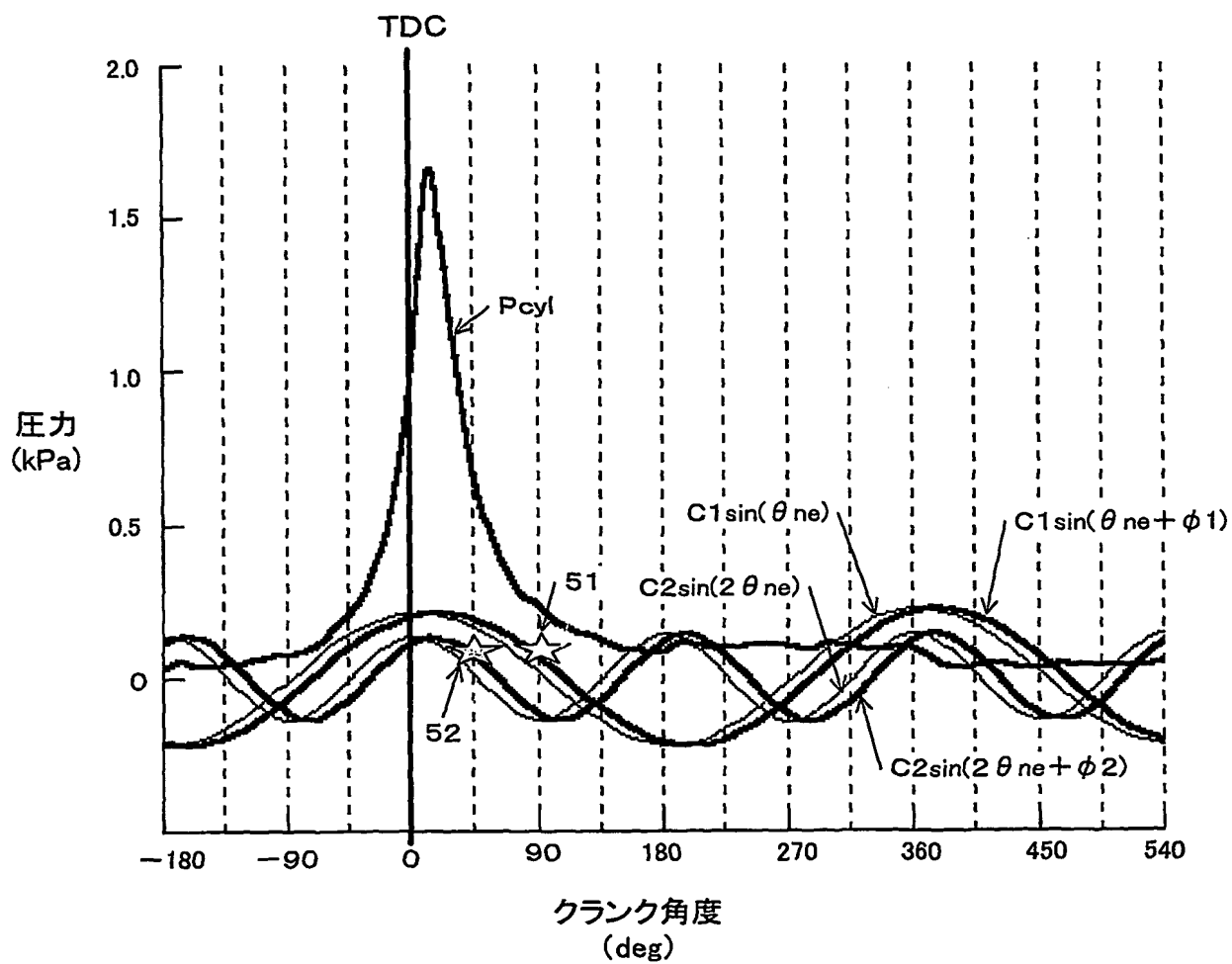
5/16

第6図



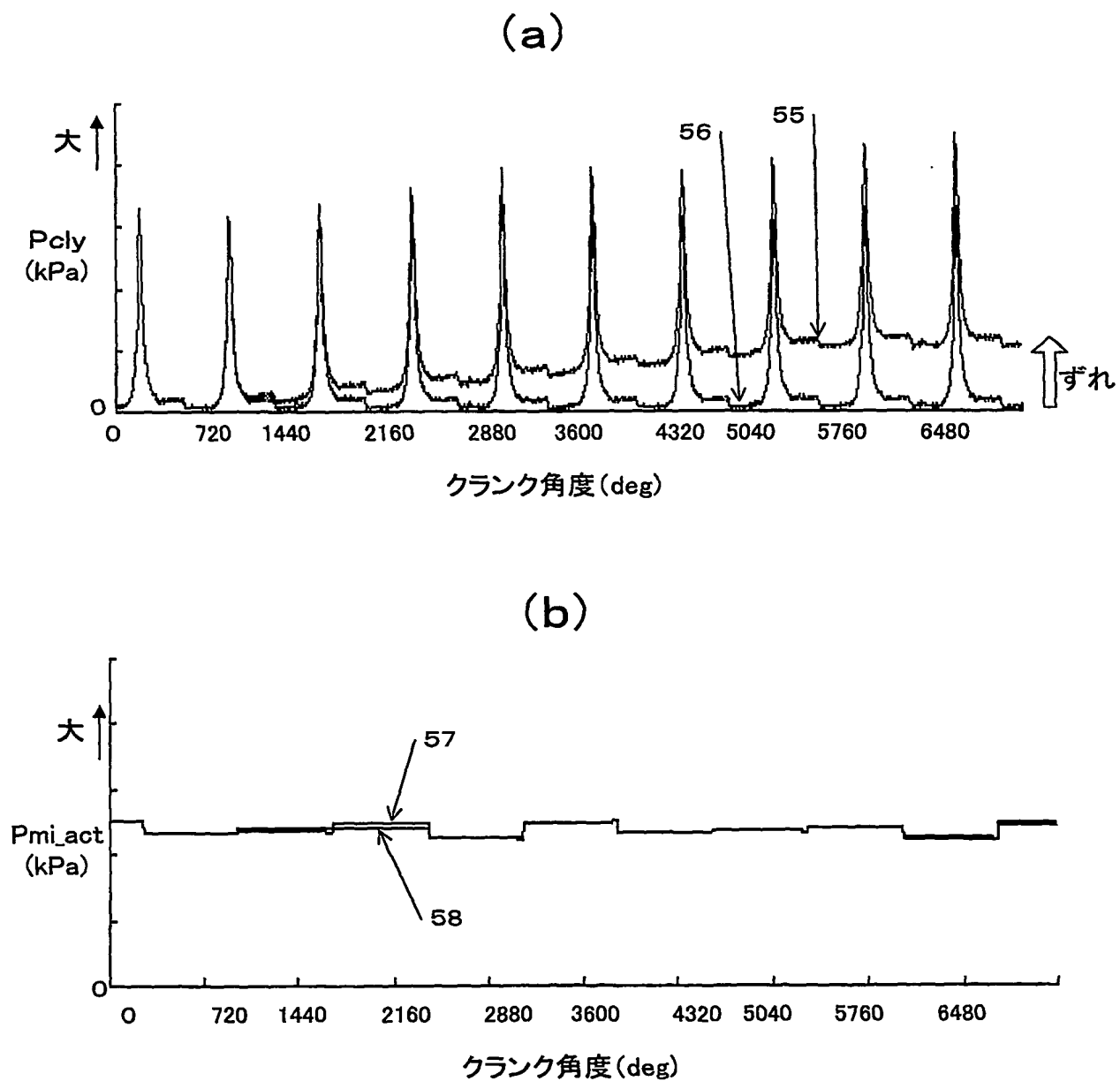
6/16

第7図

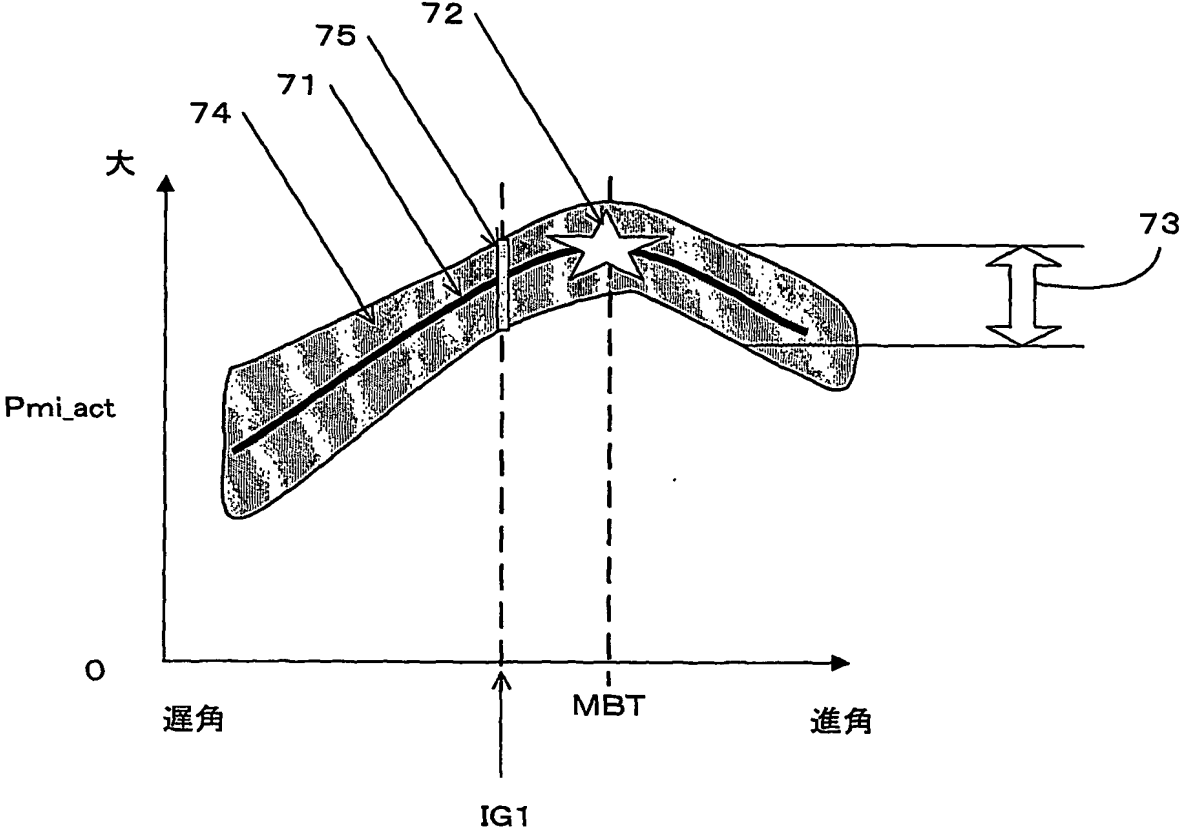


7/16

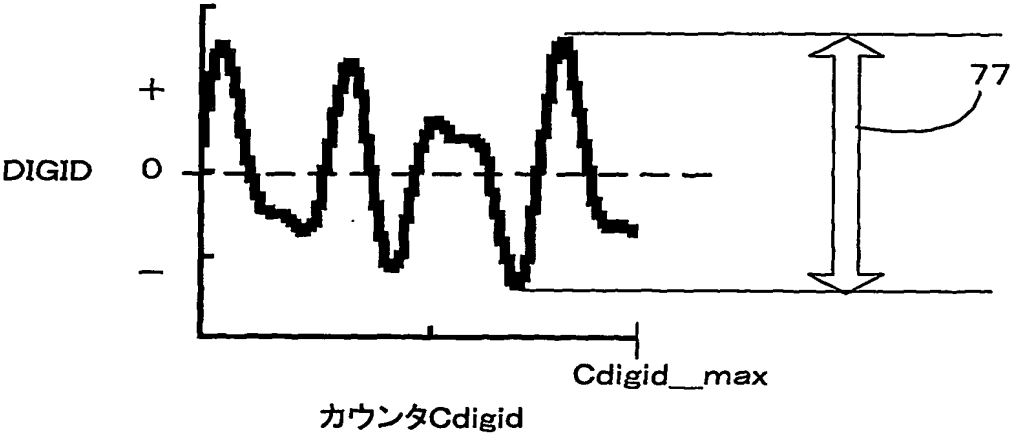
第8図



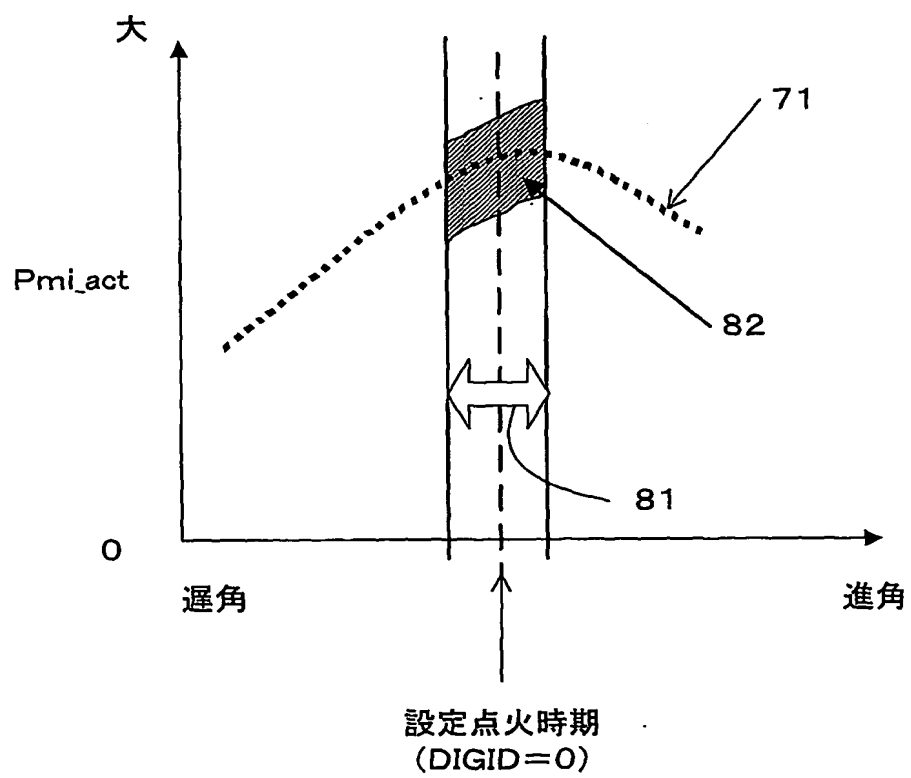
第9図



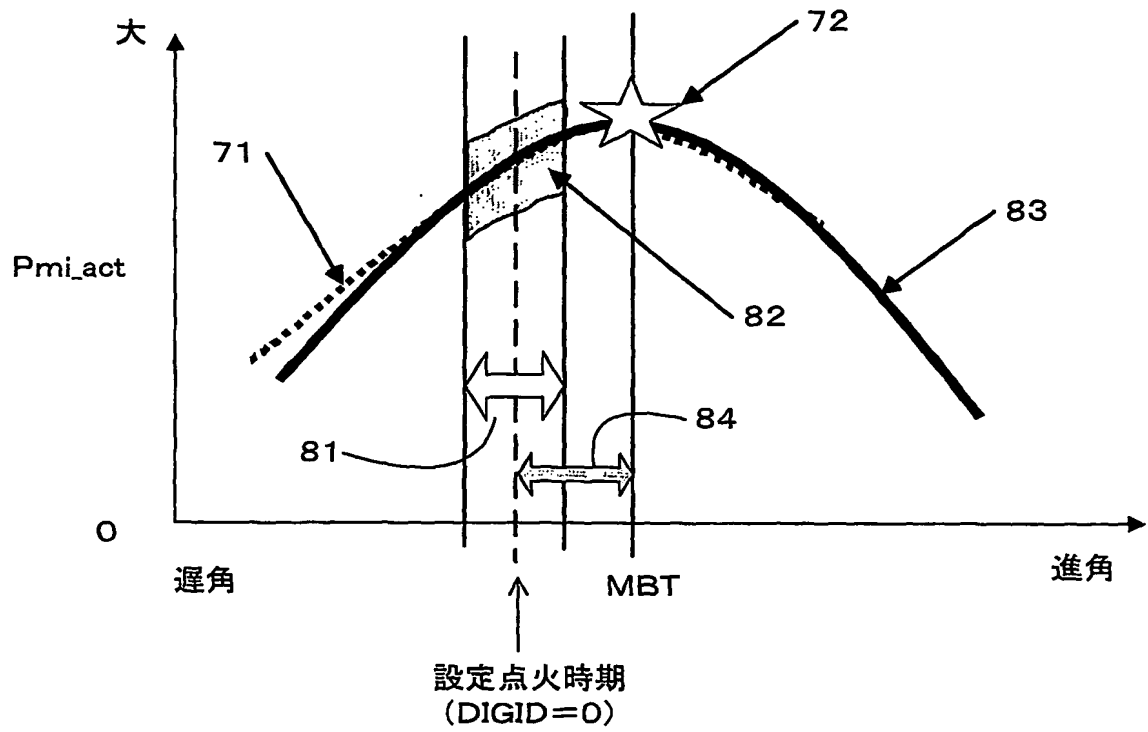
第10図



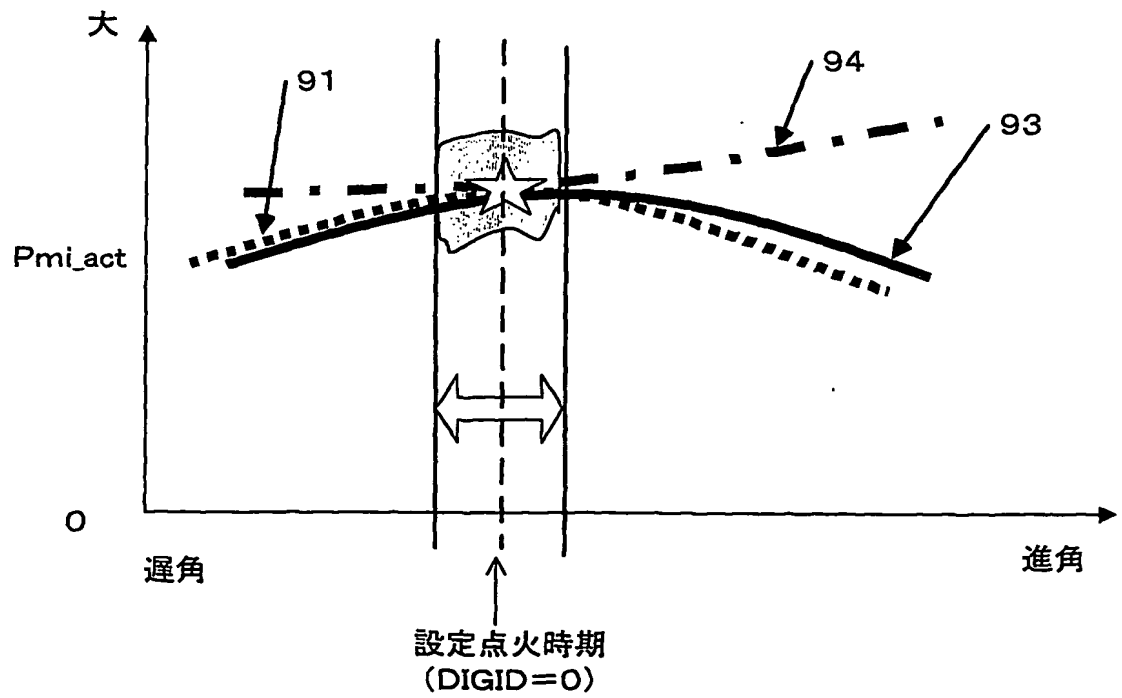
第11図



第12図

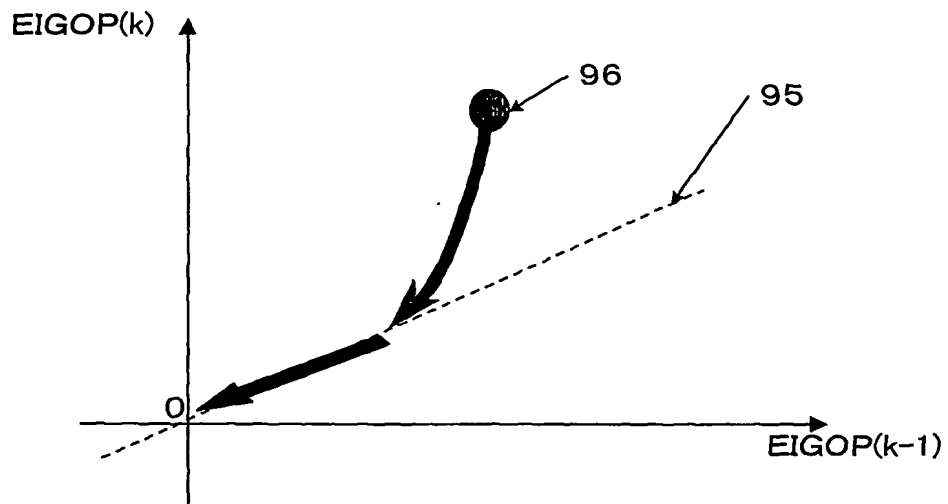


第13図

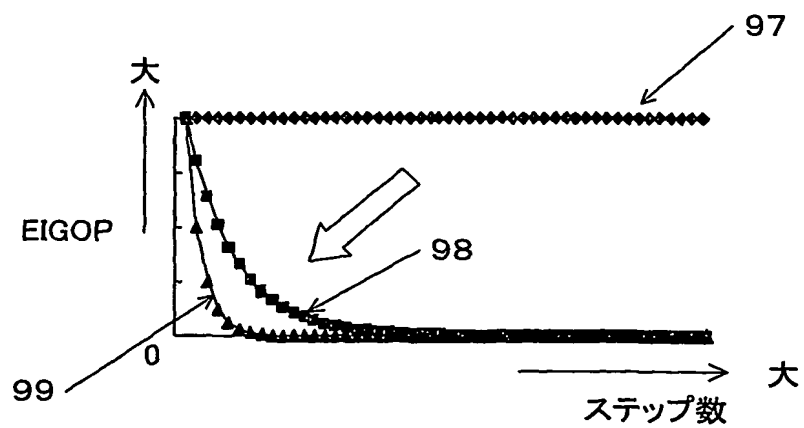


11/16

第14図

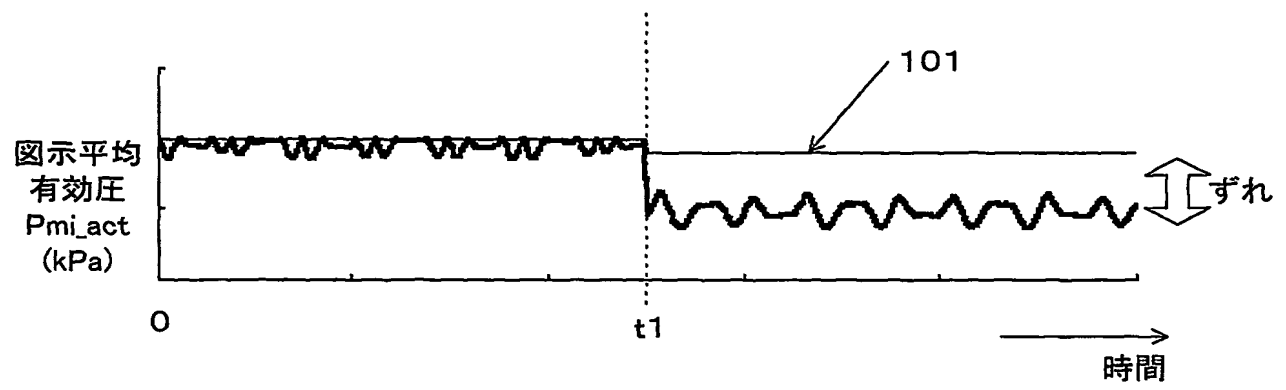


第15図

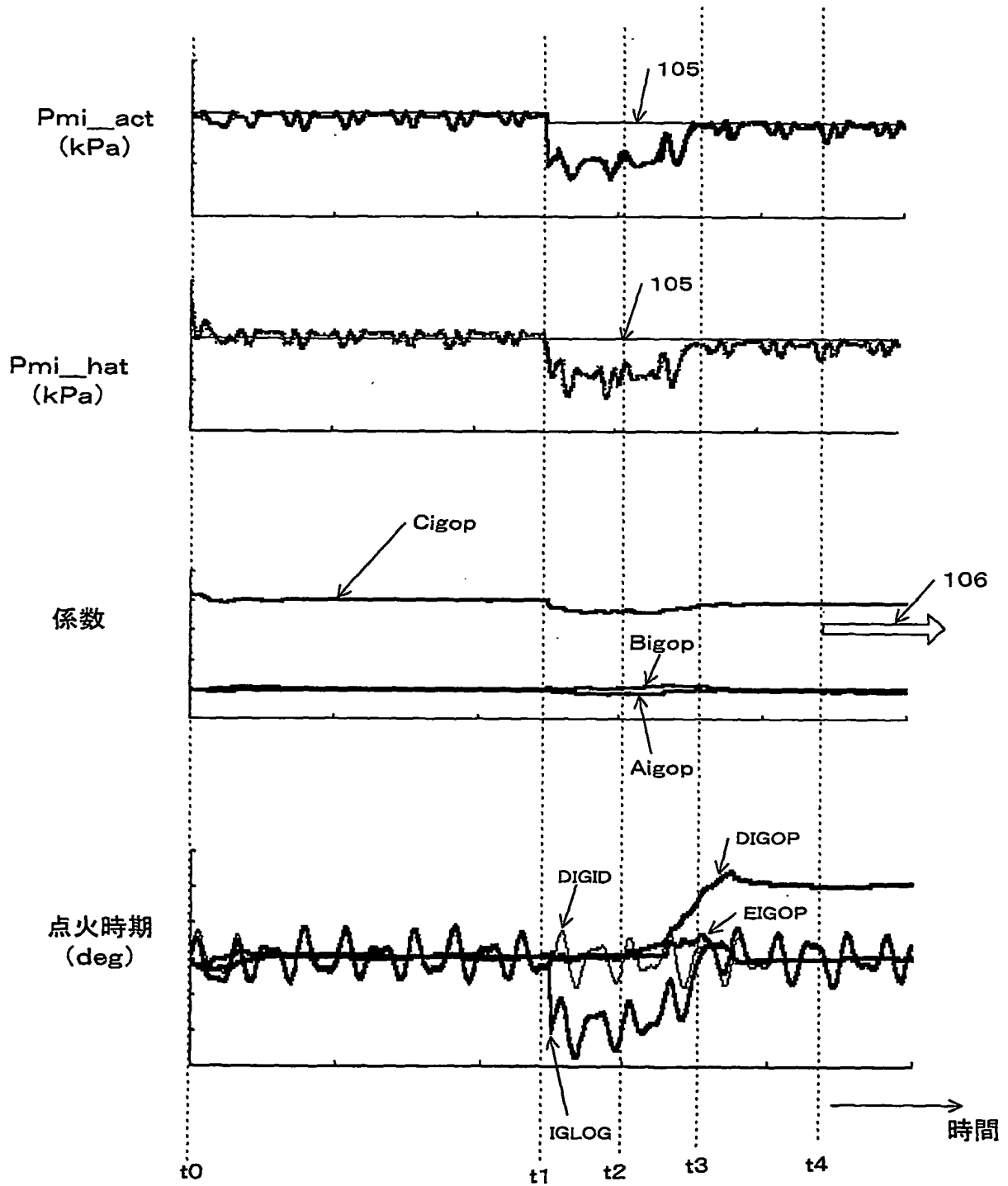


12/16

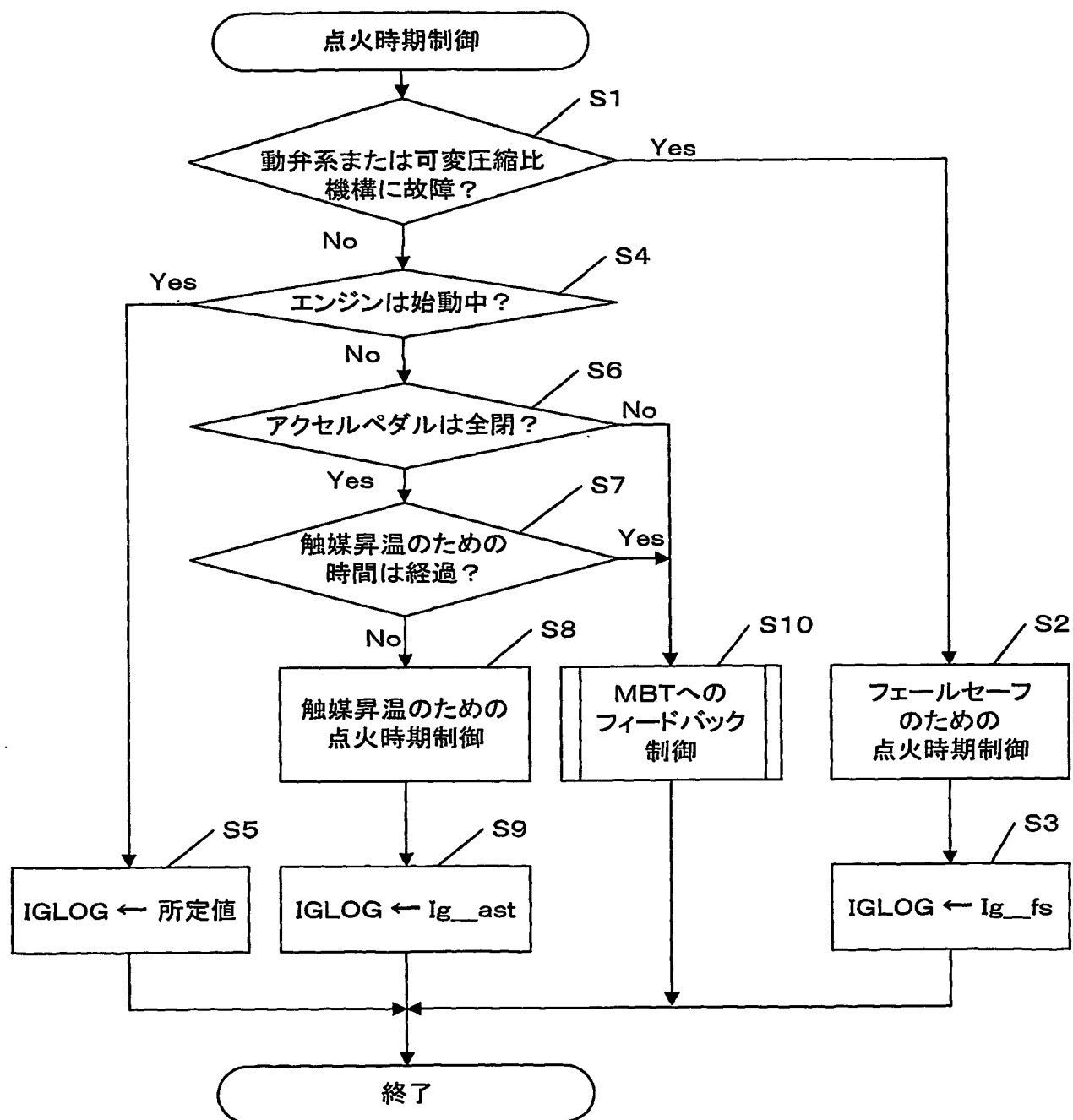
第16図



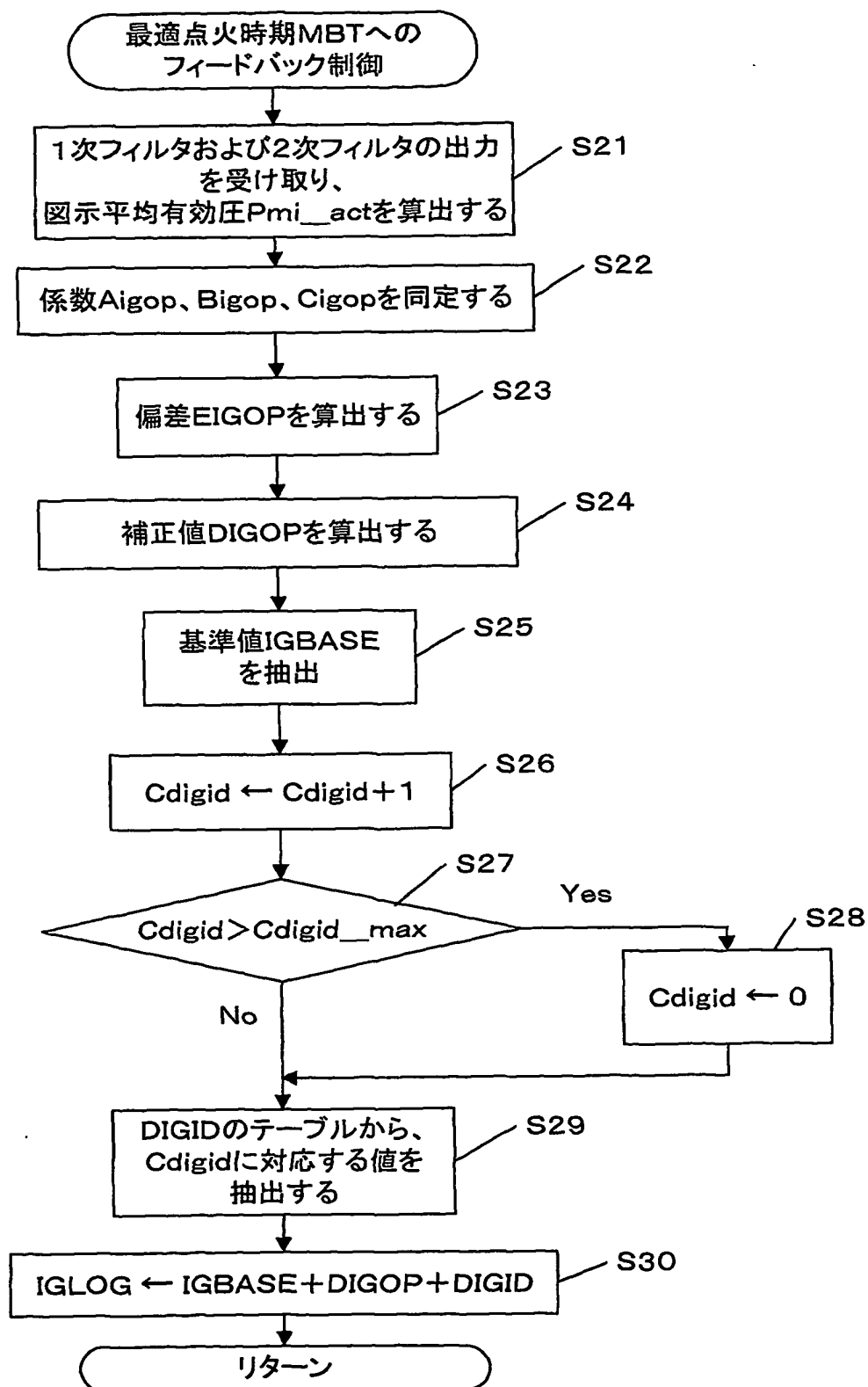
第17図



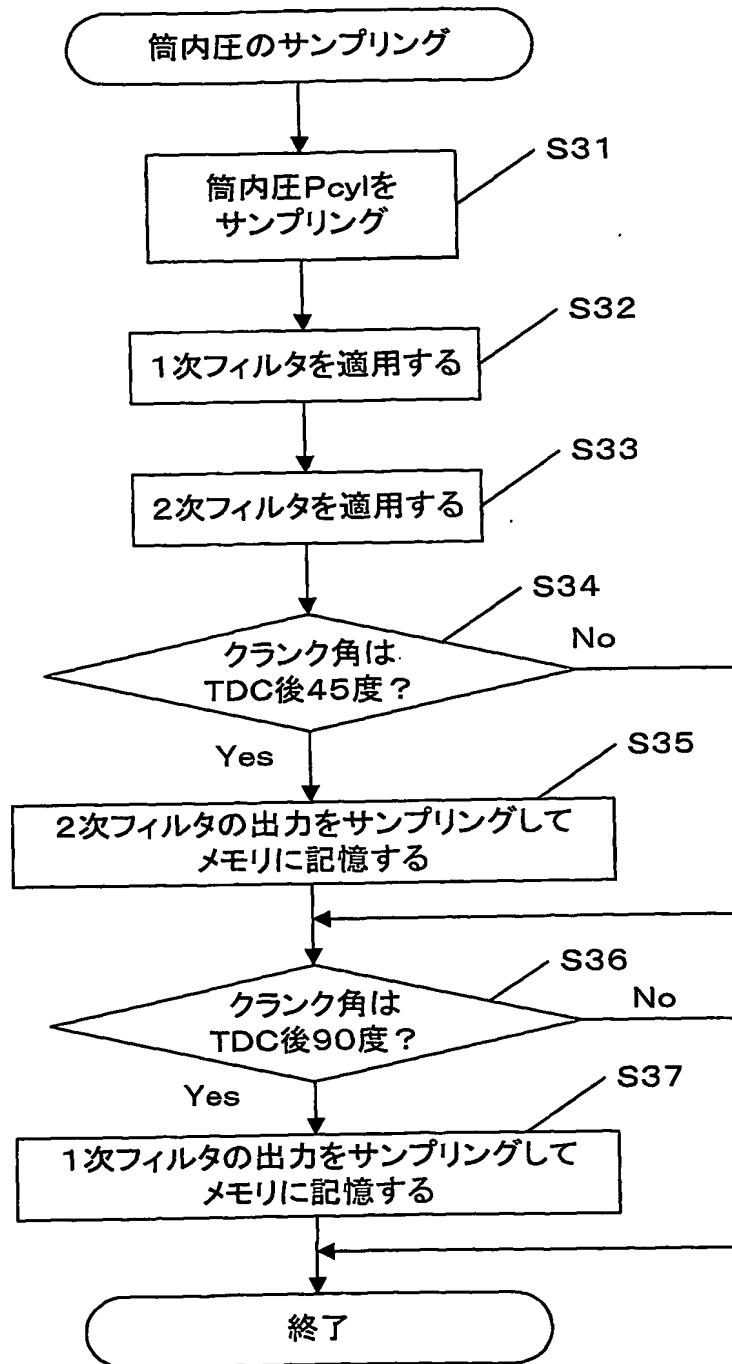
第18図



第19図



第20図



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/016787

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ F02P5/15, F02D45/00, 368

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ F02P5/15, F02D45/00, 368

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2001-271699 A (NGK Spark Plug Co., Ltd.), 05 October, 2001 (05.10.01), Par. No. [0024] & US 2001-0039941 A1	1, 8
A	JP 8-128378 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 21 May, 1996 (21.05.96), Full text (Family: none)	1-14
A	JP 4-66752 A (Mitsubishi Electric Corp.), 03 March, 1992 (03.03.92), Full text & US 005107813 A1	1-14

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 December, 2004 (09.12.04)

Date of mailing of the international search report
28 December, 2004 (28.12.04)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ F02P5/15, F02D45/00, 368

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))
Int. Cl⁷ F02P5/15, F02D45/00, 368

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
日本国公開実用新案公報 1971-2004年
日本国実用新案登録公報 1996-2004年
日本国登録実用新案公報 1994-2004年

国際調査で使用了電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2001-271699 A (日本特殊陶業株式会社) 2001.10.05, 【0024】 & US 2001-0039941 A1	1, 8
A	JP 8-128378 A (日産自動車株式会社) 1996.05.21, 全文 (ファミリーなし)	1-14
A	JP 4-66752 A (三菱電機株式会社) 1992.03.03, 全文 & US 005107813 A1	1-14

☐ C欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日
09.12.2004

国際調査報告の発送日
28.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁 (ISA/JP)
郵便番号100-8915
東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)
所村 陽一

3G 9718

電話番号 03-3581-1101 内線 3355